



**Análisis de las condiciones forestales y del suelo del talud litoral.  
Laboratorio Costero de la Universidad de Antioquia  
Arboletes**

Andrea Milena Agudelo Arcila

Trabajo de grado presentado para optar al título de Oceanógrafa

Director

Vladimir G. Toro Valencia, Doctor (PhD) en Oceanografía Física

Asesores

Alba Cecilia Bustamante, *MSc.* Geomorfología y Suelos

Isabel Cristina López Genes, Ingeniera Oceanográfica

Universidad de Antioquia  
Corporación Académica Ambiental  
Oceanografía  
Turbo, Antioquia, Colombia  
2024

---

Cita

(Agudelo Arcila, 2024)

---

**Referencia**

**Estilo APA 7 (2020)**

Agudelo Arcila, A., M. (2024). Análisis de las condiciones forestales y del suelo del talud litoral. Laboratorio Costero de la Universidad de Antioquia Arboletes. [Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, Turbo, Colombia.

---



Corporación Académica Ambiental (CAA)



Biblioteca Sede Ciencias del Mar (Turbo)

**Repositorio Institucional:** <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - [www.udea.edu.co](http://www.udea.edu.co)

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

### **Dedicatoria**

*Dedicada a mi madre, Lida Yaneth. Mi tía, Doris Eliana.*

*Mujeres fundamentales y pilares para cada paso de mi vida.*

*Gracias por estar y nunca dejarme, por apoyarme y sujetarme en cada momento.*

*Este logro es tanto mío, como suyos por su apoyo, motivación y siempre llevarme a sacar mi mejor versión.*

### Agradecimientos

Doy gracias a Dios por permitirme llegar a este momento de mi vida, por brindarme sabiduría y resiliencia. Gracias Dios por guiarme y no dejarme desfallecer.

Primeramente, agradezco a mi madre Lida Yaneth Arcila, por su entrega, amor y motivación por y para hacer de mí una mejor persona y convertirme en una profesional. Aunque esto es el inicio de un camino que tengo por recorrer, hoy te puedo decir mamá que ¡lo lograste!

Así mismo, agradezco a mi tía Doris Eliana Arcila, gracias por estar desde el día cero, por motivarme a presentarme a la UdeA, nuestra alma máter. Te agradezco por tu entrega, por ser como mi segunda madre, siempre apoyarme en mis sueños y enseñarme cómo el estudio puede abrirme muchas puertas cuando no hay más opciones.

#### **Todo lo que hoy soy es gracias a ustedes, las mujeres de mi vida.**

Así mismo, agradezco a mi tía Sodath Yadira Torrecilla, por estar siempre presente en mi vida con sus grandes consejos, por enseñarme el valor de lo pequeño y reconfortante al corazón.

Agradezco a mi asesora Isabel Cristina López Genes y mi compañero Esneider Julio Bravo, piezas fundamentales para todo mi trabajo en campo. Gracias por las risas y las enseñanzas.

Al director de este trabajo investigativo, el profesor Vladimir Toro, por entrega, motivación y dedicación en todo momento. Profe, admiro su calidez humana y versatilidad en cada momento.

Gracias por inculcarnos cada día a mejorar y no desistir, estoy segura de que nos llevamos muchas de sus enseñanzas en el corazón.

A la profesora Alba Cecilia Bustamante, por sus orientaciones.

A mis compañeros y amigos que han estado en todo este recorrido llenando mi vida de alegrías y gratos consejos.

Particularmente agradezco a José Manuel Zapata Pico, que grato fue coincidir contigo. Buen amigo, buen compañero. Gracias por motivarme siempre y nunca dejarme sola.

A mis grandes amigas, María José Castaño y Carmelina Lozano, que fortuna tenerlas. Gracias por escucharme, sacarme de apuros, por las risas y lágrimas que pasaron junto a mí.

A Manuela Rendón y Valentina Henao, siempre enseñándome la resiliencia, la calma y que todo se puede lograr.

A Paula Rey y Francisco Gambin, grandes personas y amigos que la vida me presentó. Gracias por siempre estar.

A los demás compañeros de mi corte (2019/1), fueron gratos momentos junto a ustedes, risas y recuerdos que permanecerán en mí.

Finalmente agradezco, a la gobernación de Antioquia y al proyecto PIMECLA “Programa Integral para el Monitoreo y Mitigación de la Erosión Costera en el Litoral Antioqueño”, liderado por el DAGRAN y la Universidad de Antioquia, por permitirme realizar mi trabajo de investigación, por la financiación, por bríndame la oportunidad de rodearme de profesionales excepcionales y aportar a mi crecimiento profesional, académico y personal.

A la comunidad del Barrio Campomar, del municipio de Arboletes, Antioquia por permitirme el acceso a sus terrenos para la realización del levantamiento topográfico.

A mi amada Universidad de Antioquia, mi lugar durante todos estos años. Lugar que me tomó, me transformó e hizo de mí un mejor ser humano, más empático, más integral. Me formaste tanto académicamente como personalmente.

Gracias UdeA, por enamorarme de la ciencia, del mar y de la investigación.

---

**Tabla de contenido**

Resumen .....	11
Abstract .....	12
1. Introducción .....	13
2. Objetivos .....	15
3. Área de estudio y metodología .....	16
3.1 Área de estudio .....	16
3.2. Caracterización de la cobertura vegetal (Enfocado al objetivo específico 1) .....	17
3.3. Caracterización de suelos (Enfocado al objetivo específico 1) .....	19
3.3.1. Muestreo de suelo .....	19
3.3.2. Análisis de Laboratorio .....	21
3.4. Características topográficas (Enfocado al objetivo específico 2) .....	22
3.4.1. Levantamiento topográfico detallado de la zona de estudio .....	22
3.4.2. Columna estratigráfica .....	23
3.5. Análisis fisicoquímico en el cuerpo de agua ( <i>in situ</i> ) (Enfocado al objetivo específico 2) .....	24
4. Resultados y discusión .....	25
4.1 Cobertura vegetal .....	25
4.2. Condiciones de suelo .....	29
4.2.1. Análisis fisicoquímico del suelo .....	30

---

4.3 Levantamiento topográfico .....	37
4.3.1 Columna estratigráfica .....	38
4.4. Análisis fisicoquímico en la quebrada las Dolencias .....	40
4.6. Condiciones para la protección del talud .....	41
5. Conclusiones .....	45
6. Recomendaciones .....	46
7. Referencias .....	47
8. Anexos .....	53

---

**Lista de tablas**

<b>Tabla 1.</b> Variables de medición según categorías de tamaño.....	18
<b>Tabla 2.</b> Índices de diversidad.....	18
<b>Tabla 3.</b> Normas técnicas para los análisis de suelos. ....	22
<b>Tabla 4.</b> Inventario forestal de las especies nativas del Laboratorio Costero de la UdeA. (*) taxones maderables. ....	25
<b>Tabla 5.</b> Índices de diversidad biológica en el área de estudio. ....	27
<b>Tabla 6.</b> Análisis fisicoquímico de suelo en el área de estudio.....	30
<b>Tabla 7.</b> Calificación del suelo en función del pH determinado en agua 1:1.....	32
<b>Tabla 8.</b> Clases de salinidad del suelo.....	36
<b>Tabla 9.</b> Especies de Bosque Seco Tropical (Bs-T) sugeridas para el Laboratorio Costero.....	44



---

**Lista de figuras**

<b>Figura 1.</b> Área de estudio. ....	16
<b>Figura 2.</b> Desembocadura de la quebrada las Dolencias en época húmeda. ....	17
<b>Figura 3.</b> Zonificación del área de estudio. ....	20
<b>Figura 4.</b> Patrón de recorrido para toma de submuestras de suelo. ....	21
<b>Figura 5.</b> Proceso de elaboración del DEM. ....	23
<b>Figura 6.</b> Abundancia relativa de las especies nativas identificados en el Laboratorio Costero. .	26
<b>Figura 7.</b> Ubicación de la vegetación nativa. ....	28
<b>Figura 8.</b> Textura de los suelos del área de estudio.....	31
<b>Figura 9.</b> Modelo de elevación (DEM) del Laboratorio Costero, con detalle en área de estudio.	37
<b>Figura 10.</b> A) Acantilado donde se levantó la columna estratigráfica. B) descripción de la columna estratigráfica. ....	39
<b>Figura 11.</b> Análisis fisicoquímico en la quebrada las Dolencias. ....	40
<b>Figura 12.</b> A) Vista longitudinal de la ubicación de las especies en el talud de la cárcava. B) Vista latitudinal de la ubicación de las especies en el talud costero. ....	42

---

### Lista de anexos

- Anexo 1.** Listado de árboles marcados. Se presentan coordenadas de registro, número de registro, nombre común y nombre científico, variables medidas y estado de los individuos. ....53
- Anexo 2.** Modelo de elevación para el cuerpo de agua, encontrado en el margen derecho del talud. ....58

---

## Resumen

En las últimas décadas, la erosión costera ha aumentado a lo largo de las costas del mundo, debido a factores antropogénicos y naturales, generando consecuencias negativas como la pérdida de ecosistemas, infraestructura, viviendas y terrenos productivos, así como el desplazamiento de comunidades. Para abordar esta problemática, se han propuesto soluciones basadas en la naturaleza. En este contexto, se sugiere el uso de especies arbóreas adaptadas a las condiciones del área de estudio como estabilizadores de la erosión costera.

Con el propósito de investigar las condiciones ambientales en el talud litoral del Laboratorio Costero de la Universidad de Antioquia en Arboletes, se realizó un estudio integral que abarcó el análisis de la vegetación y las características edáficas de la zona, además un levantamiento topográfico y una revisión bibliográfica para identificar especies adaptadas al área de estudio. Los resultados mostraron la presencia de 148 individuos pertenecientes a 19 especies en 17 géneros y 14 familias. En cuanto a las condiciones del suelo, se identificó que el Laboratorio Costero se encuentra en la Asociación Arboletes, caracterizada por ser una planicie fluvio marina con terrazas y sedimentos mixtos fluvio marinos como materiales parentales. Los suelos son profundos y están desarrollados a partir de materiales finos en la capa superficial. La identificación de especies vegetales adaptadas al área de estudio permite aprovechar las ventajas de las especies nativas, que exhiben adaptaciones específicas a las condiciones locales, como resistencia a la salinidad, tolerancia a condiciones extremas y capacidad para estabilizar el suelo. Estas especies nativas son valiosas en los procesos de restauración, ya que están más adaptadas al entorno y pueden contribuir al restablecimiento de la biodiversidad y la funcionalidad del ecosistema costero. En conclusión, los resultados de esta investigación proporcionan una base sólida para la protección y restauración del talud litoral del Laboratorio Costero de la Universidad de Antioquia. La identificación de especies adaptadas y el análisis de las condiciones del suelo y el terreno son fundamentales para promover la conservación a largo plazo del ecosistema costero.

*Palabras clave:* especies nativas costeras, protección, erosión, talud litoral.

---

### Abstract

In recent decades, coastal erosion has increased along the world's coasts, due to anthropogenic and natural factors, generating negative consequences such as the loss of ecosystems, infrastructure, homes, and productive land, as well as the displacement of communities. To address this issue, nature-based solutions have been proposed. In this context, the use of tree species adapted to the study area's conditions is suggested as coastal erosion stabilizers.

To investigate the environmental conditions on the coastal slope of the Coastal Laboratory of the University of Antioquia in Arboletes, a comprehensive study was conducted, including the analysis of vegetation and soil characteristics in the area, as well as a topographic survey and a literature review to identify species adapted to the study area. The results showed the presence of 148 individuals belonging to 19 species in 17 genera and 14 families. Regarding soil conditions, it was identified that the Coastal Laboratory is in the Arboletes Association, characterized by being a fluvio-marine plain with terraces and mixed fluvio-marine sediments as parent materials. The soils are deep and developed from fine materials in the surface layer. Identifying plant species adapted to the study area allows for leveraging the advantages of native species, which exhibit specific adaptations to local conditions, such as salt tolerance, resilience to extreme conditions, and the ability to stabilize the soil. These native species are valuable in restoration processes as they are better adapted to the environment and can contribute to restoring biodiversity and coastal ecosystem functionality. In conclusion, the results of this research provide a solid foundation for the protection and restoration of the coastal slope of the University of Antioquia Coastal Laboratory. Identifying adapted species and analyzing soil and terrain conditions are essential to promote long-term conservation of the coastal ecosystem.

**Keywords:** coastal native species, protection, erosion, coastal slope.

---

## 1. Introducción

La cobertura vegetal y el uso del suelo son dos elementos fundamentales que destacan la transformación de la superficie terrestre a lo largo del tiempo, como señalan Reyes *et al.* (2006, citado por Leija, 2013). Aunque las actividades de manejo del suelo son esenciales para la supervivencia humana, su impacto conlleva graves consecuencias, como la deforestación, la fragmentación de ecosistemas, la desertificación, la alteración de los ciclos hidrológicos, la pérdida de diversidad biológica y el aumento de la vulnerabilidad de las sociedades, entre otros efectos. Si bien los eventos naturales como inundaciones, sequías y erosión pueden provocar cambios en la cobertura natural, en las últimas décadas, el impacto de las actividades humanas se ha convertido en uno de los principales impulsores de la transformación de los ecosistemas (Reyes *et al.*, 2006 citado por Leija, 2013 y Nájera *et al.*, 2013).

En este sentido, a lo largo de las costas del planeta, el problema de erosión costera ha ido en aumento a causa de factores naturales y antrópicos. Sus consecuencias negativas están asociadas a la pérdida de ecosistemas, infraestructura, viviendas, terrenos productivos e incluso desplazamiento de población (Gobernación de Antioquia [Gob.ANT], Universidad de Antioquia [UdeA], Universidad Nacional [UNAL], & Universidad del Norte [UNINORTE], 2021).

Dicho fenómeno se presenta en la zona en la cual se realiza el estudio planteado en este trabajo, y algunas de sus causas son principalmente la influencia directa del oleaje, procesos de erosión subárea, litología endeble de las terrazas y acantilados compuestos en mayor proporción por lodolitas fracturadas y meteorizadas como por los sedimentos finos no consolidados presentes en la zona. Estas condiciones determinan un retroceso rápido de la franja litoral debido a que facilitan en gran medida los deslizamientos, caída de rocas y flujos de lodo (Correa & Vernet, 2004; Correa-Arango *et al.*, 2007).

Como respuesta a esta problemática se han diseñado diferentes soluciones que han permitido reducir el impacto de este fenómeno en las zonas costeras (Isla & Lasta, 2006; Pranzini & Williams, 2013; Luo *et al.*, 2015; Gracia *et al.*, 2018), la ejecución de estas soluciones está centrada en dos tipos de alternativas: las que se basan en obras de hormigón o material de construcción (duras) y las que se basan en ecosistemas (blandas). Las alternativas blandas, se definen como soluciones basadas en la naturaleza (SbN) y tratan de emular a “diversos

---

ecosistemas naturales como disipadores de energía y reservorios de sedimentos, que han presentado buenos resultados y podrían usarse como estabilizadores de la erosión costera” (Maza et al., 2017; Gob.ANT, UdeA, UNAL, UNINORTE, 2021).

En muchos casos, estas soluciones son más eficientes y rentables que los enfoques técnicos tradicionales (Lochner *et al.*, 2019). Algunas de las estructuras naturales que han mostrado gran eficiencia en la mitigación de los procesos erosivos en los litorales tropicales y subtropicales son los ecosistemas arbóreos (Thampanya *et al.*, 2006; Alongi, 2007, Gob.ANT, UdeA, UNAL, UNINORTE, 2021). En este caso el establecimiento de zonas de manglar, así como arboles fustales y de menor tamaño se convierten en una opción de protección a mediano y largo plazo (Prasetya, 2007). De manera particular, su establecimiento cerca de la franja costera depende de las características del suelo y de la geofoma sobre la cual están asentados, playa o taludes.

En este sentido, en el caso de los taludes es necesario tener en cuenta su formación geomorfología (Díaz-Suaréz, 1998; Díaz-Suárez, 2001). Particularmente, la zona de estudio se caracteriza por ser una terraza emergida inclinada de Noreste (NO) a Norte (N) con una pendiente suave, conocida como la terraza de Arboletes. Esta elevación se extiende desde la desembocadura del río Jobo (ubicado a 3 kilómetros al sur de Arboletes) hasta Punta Rey, y continúa por aproximadamente 5,5 km hacia el este, con una altura que varía desde 1 m en Punta Rey hasta 8 m en el casco urbano de Arboletes.

El acantilado que compone esta franja está compuesto por materiales arcillo-limosos con lentes de arenas y gravas, lo que resulta en la formación de acantilados blandos con estratos de mayor resistencia hacia la base. Además, la formación de Arboletes se encuentra entre varios accidentes marinos emergidos, como crestas de playa, farallones y corales, que alcanzan una elevación máxima de 36 m y son representativos de la costa sur del Caribe colombiano (Correa & Paniagua, 2016; Gob.ANT, UdeA, UNAL, UNINORTE, 2021).

Teniendo en cuenta lo anterior, este estudio se centra en el análisis las condiciones forestales y del suelo del talud litoral del Laboratorio Costero de la Universidad de Antioquia ubicado en el municipio de Arbolete. Se espera con los resultados de este trabajo proponer estrategias que permitan establecer especies arbóreas adecuadas a los tipos de suelo y a la geofoma del Laboratorio Costero de la UdeA (Arboletes).

## **2. Objetivos**

### **2.1 Objetivo general**

Analizar las condiciones forestales y del suelo del talud litoral del Laboratorio Costero de la Universidad de Antioquia ubicado en el municipio de Arboletes

### **2.2 Objetivos específicos**

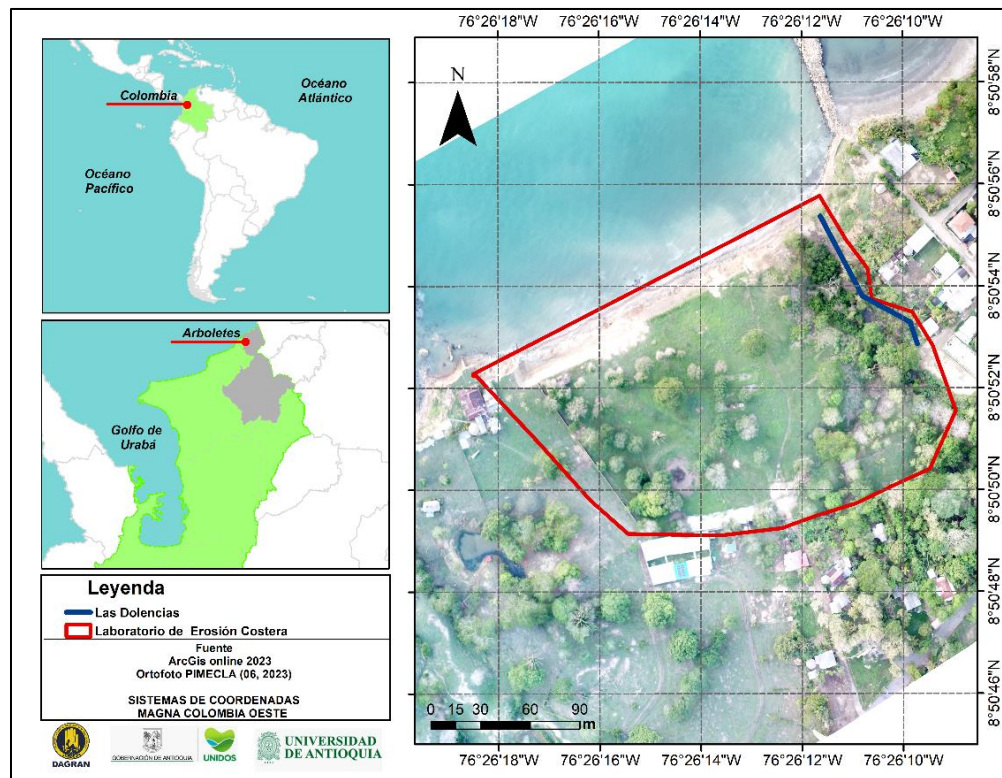
- Caracterizar condiciones edáficas del suelo y cobertura vegetal asociada del talud del Laboratorio Costero.
- Determinar las principales características topográficas de la zona de estudio.
- Identificar posibles especies vegetales adaptables al área de estudio que puedan ser implementadas en el talud costero.

### 3. Área de estudio y metodología

#### 3.1 Área de estudio

El Laboratorio Costero de la Universidad de Antioquia ubicado en el municipio de Arboletes Antioquia. Se encuentra a 1 kilómetro al sur del casco urbano del municipio, en su costado noroeste limita con el mar Caribe y al noreste con una quebrada llamada las Dolencias (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.).

*Figura 1. Área de estudio.*



El municipio de Arboletes tiene temperatura media anual de 27 grados centígrados (°C) y está regido climáticamente por la influencia de la Zona de convergencia intertropical (ZCIT). Por lo tanto, en la época seca (diciembre-abril) se presentan precipitaciones promedio de 40 mm/mes y predominio de vientos alisios del norte y noreste con velocidades entre 4 y 10 m/s. En la época húmeda (mayo-noviembre) el promedio de lluvia alcanza valores de 200 mm/mes y vientos predominantes del sur (CIOH, 1993; CORPOURABÁ & UNIVERSIDAD NACIONAL, 1998;



Correa & Vernet, 2014; Gob.ANT, UdeA, UNAL, UNINORTE, 2021). Estas condiciones permiten clasificar al municipio en clima tropical seco o de sabana (Aw) según Koppen- Geiger (Peel *et al.*, 2007) y según el sistema de Holdridge se clasifica como bosque seco tropical (bs-T) (González-Gómez, 2014; García-Echevarría, 2021).

El Laboratorio Costero se encuentra sobre en una terraza marina conformada por materiales sedimentarios terrígenos y biogénicos de edad Oligoceno-Plioceno (Duque Caro, 1984; Correa & Vernet, 2014; García Oquendo, 2022). La quebrada Las Dolencias presenta un caudal variable de acuerdo con la época climática (humedad o seca). En época húmeda su caudal es aproximadamente de 0.1 m<sup>3</sup>/s, este caudal es suficiente para abrir su boca y desembocar en el mar (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). En época seca el caudal disminuye y la energía del oleaje es muy alta lo cual permite la creación de una barra de sedimentos que impide que este afluente tenga salida hacia el mar (Gobernación de Antioquia & Universidad de Antioquia , 2023).

**Figura 2.** Desembocadura de la quebrada las Dolencias en época húmeda.



### 3.2. Caracterización de la cobertura vegetal (Enfocado al objetivo específico 1)

Para la caracterización de las especies nativas del Laboratorio Costero se utilizó el inventario forestal realizado en la fase II del Programa Integral para el Monitoreo y Mitigación de la Erosión Costera en el Litoral Antioqueño (PIMECLA). En este inventario se obtuvo la altura, el diámetro y la clasificación taxonómica de los individuos fustales con un diámetro a la altura

del pecho (DAP) entre 30 cm y  $\geq 10$  cm y fustales grandes con  $DAP \geq 30$  cm (Barreto Silva *et al.*, 2018) (Tabla 1).

**Tabla 1.** Variables de medición según categorías de tamaño.

Categoría	Variable	
<b>Brinzal</b>	Número de individuos por especie	Altura total (m)
		Diámetro a la altura del pecho (DAP) (cm)
<b>Latizal</b>	Condición Tipo de fuste	DAP (cm)
		Altura total (m)
<b>Fustal</b>	Altura de medición del DAP (m)	Altura total (m)
		Altura del fuste (m)
<b>Fustal grande</b>	Distancia Azimut	Forma de fuste
		Daño

*Modificado de: (Barreto Silva et al., 2018)*

Con el fin de determinar las especies dominantes, se calculó la abundancia relativa de los taxones identificados. Este parámetro proporciona una medida cuantitativa de la dominancia de una especie en particular. La abundancia relativa se expresa como un porcentaje o proporción del total de organismos presentes en el área.

Adicionalmente, en el programa PIMECLA se calculó la diversidad de especies de acuerdo con los índices de diversidad (Gobernación de Antioquia & Universidad de Antioquia, 2021).

**Tabla 2.** Índices de diversidad.

Índices de diversidad	Expresión	Determinación
Margalef	$D_{mar} = \frac{S - 1}{Ln N}$	S: número de especies N: número total de individuos
Menhinick	$D_{mnk} = \frac{S}{\sqrt{N}}$	S: número de especies N: número total de individuos
Simpson	$D = \sum_{i=1}^S P_i^2$	S: número de especies p <sub>i</sub> : proporción de cada especie

*Modificado de: (Gobernación de Antioquia & Universidad de Antioquia, 2021)*

Los índices describen las siguientes características:

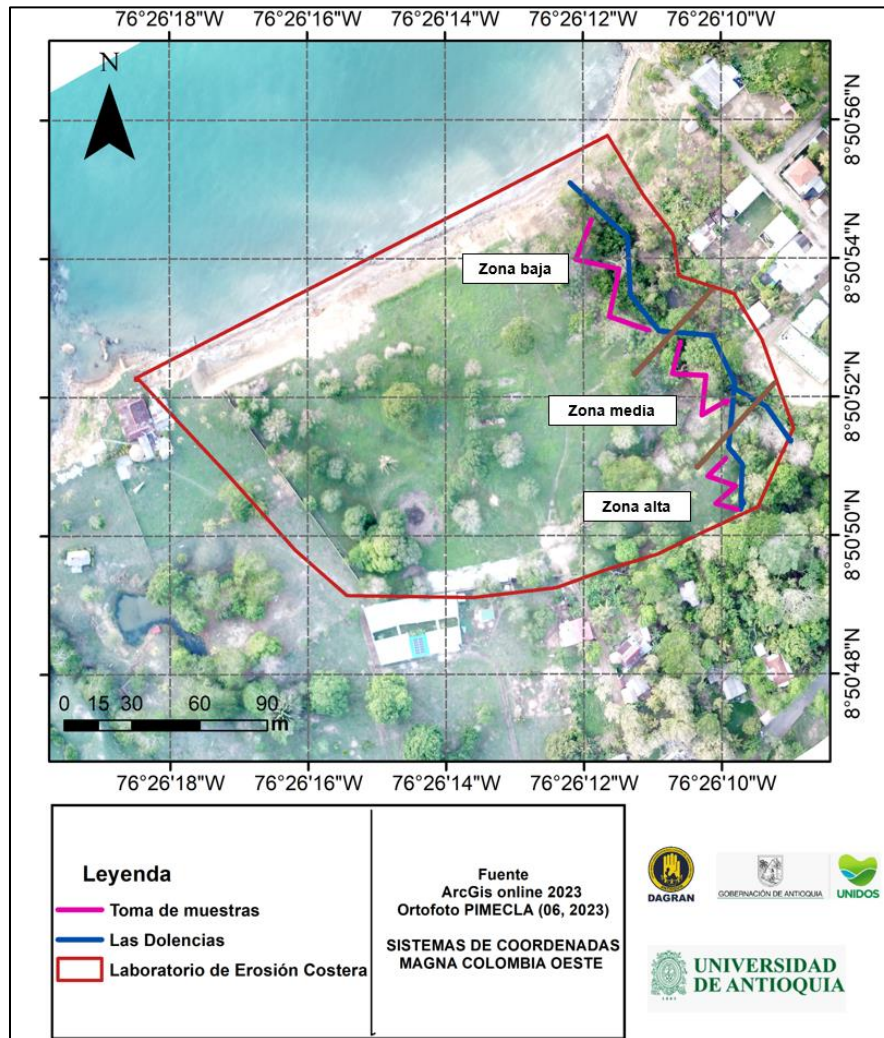
- 
- **Margalef:** evalúa riqueza de especies. Considera el número absoluto de especies presentes cuantitativamente de la diversidad específica.
  - **Menhinick:** evalúa equidad o uniformidad en la distribución de las especies. Considera la riqueza de especies y el tamaño de la muestra, y da cuenta de la similitud o desigualdad en la presencia de las especies en el área de estudio.
  - **Simpson:** evalúa dominancia de especies en el área, combina tanto la riqueza de especies como la abundancia relativa de cada una. Proporciona una medida de la diversidad al tener en cuenta la presencia de especies dominantes o poco comunes.

### 3.3. Caracterización de suelos (Enfocado al objetivo específico 1)

#### 3.3.1. Muestreo de suelo

Con el fin de caracterizar las condiciones edafológicas del Laboratorio Costero, el área se dividió en tres: zona alta, zona media y zona baja (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), esta división se realizó teniendo en cuenta la cantidad de árboles presentes en la zona y considerando la distribución de la pendiente que conecta con la quebrada, obteniendo así las siguientes características:

- Zona alta: poca cantidad de árboles y pendiente muy poco pronunciada.
- Zona media: poca cantidad de árboles y la pendiente un poco más pronunciada que en la zona alta.
- Zona baja: gran cantidad de árboles y pendiente muy pronunciada.

**Figura 3.** Zonificación del área de estudio.

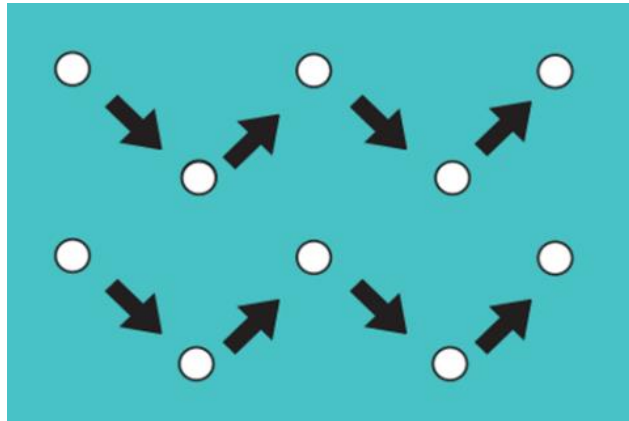
La toma de las muestras se hizo con base en la metodología de muestreo de suelos de (Osorio & Casamitjana, 2012), que consiste en delimitar el área de muestreo de acuerdo con las características que se presentan en la zona (pendiente, material parental, uso y manejo) y coleccionar una muestra compuesta para cada una de las zonas, que según Prialé-Farro, (2016), “*es el conjunto de varias submuestras que se considera representativa de la unidad de muestreo*”.

En cada una de estas zonas se tomó una cantidad de 0,5 kg de suelo, tomando una cantidad representativa en cada una de las perforaciones.

De acuerdo con lo anterior se realizó una perforación de 20cm de profundidad en cinco puntos distribuidos en zigzag en cada zona, (Figura 4). La muestra compuesta número 1 (zona

alta) se tomó en el cambio de pendiente que se presenta en el talud, la muestra compuesta número 2 (zona media) se tomó en el margen del talud que interacciona con el afluente de agua y la muestra compuesta número 3 (zona baja) se tomó en la parte superior del talud.

**Figura 4.** Patrón de recorrido para toma de submuestras de suelo.



Tomado de: (Schweizer, 2011)

Las muestras se guardaron en bolsas selladas, se rotularon y se almacenaron en una cava que se envió al Laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Allí se realizaron los análisis que se mencionan a continuación.

### **3.3.2. Análisis de Laboratorio**

En el área de estudio, se recolectaron muestras para realizar análisis que abarcaron la textura, pH, porcentaje de materia orgánica (MO) y carbono orgánico (CO), contenido de bases intercambiables, capacidad de intercambio catiónico (CIC), conductividad eléctrica (CE), así como la presencia de elementos menores como P, Fe, Mn, Cu, Zn y S. Estos análisis químicos del suelo se llevaron a cabo siguiendo los procedimientos detallados en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Normas técnicas para los análisis de suelos.

DETERMINACIÓN	MÉTODO
pH	NTC 5264-2018
Materia Orgánica (MO)	NTC 5526-2007 Método Walkley-Black
Carbono orgánico (CO)	NTC 5403-2013 Método Walkley-Black
Ca	NTC 5349-2016
Mg	NTC 5349-2016
K	NTC 5349-2016
CICE	NTC 5268-2014
Acidez Intercambiable (Al)	NTC 5263-2017
Zn	NTC 5526-2007
B	NTC 5752-2010
P	NTC 5752-2010
Fe	NTC 5752-2010
Mn	NTC 5752-2010
Cu	NTC 5752-2010
Textura	NTC 6229-2018
CE	NTC 5596-2008

Fuente: Laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. (Universidad Nacional de Colombia, n.d)

### 3.4. Características topográficas (Enfocado al objetivo específico 2)

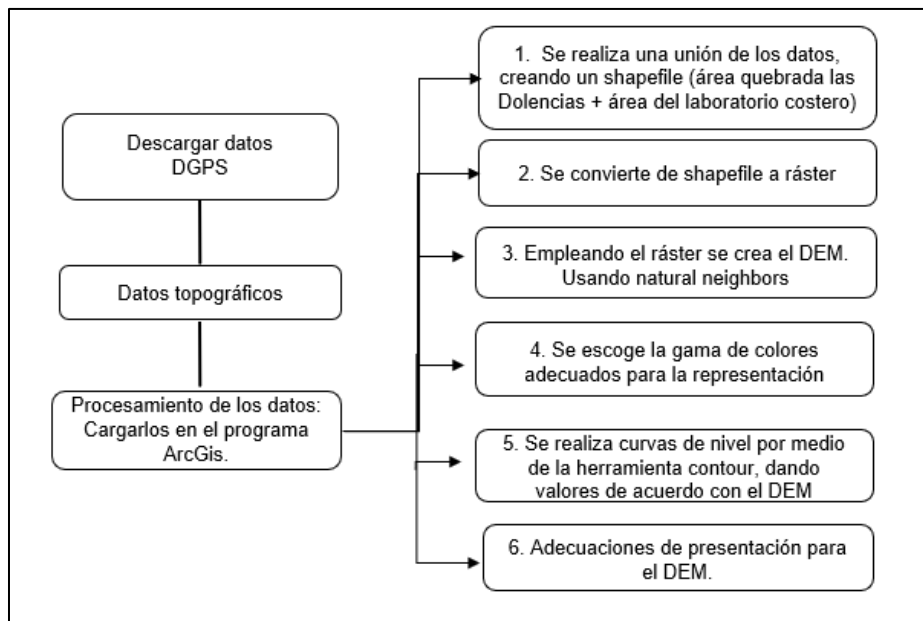
#### 3.4.1. Levantamiento topográfico detallado de la zona de estudio

Se realizó un levantamiento topográfico desde la zona alta hasta la desembocadura de la quebrada en el mar (zona baja) del área de estudio, empleando un sistema de posicionamiento global (GPS) diferencial i50 de la marca CHCNAV, modelo GNSS RTK (Cinemática en Tiempo Real). Se configuró el equipo para la captura precisa de datos topográficos en el terreno.

Posteriormente, se utilizó esta información para generar dos modelos de elevación digital (DEM): uno específico para el área de la quebrada Las Dolencias **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y otro para todo el perímetro del laboratorio con datos suministrados por el Programa Integral para el Monitoreo y Mitigación de la Erosión Costera en el Litoral Antioqueño.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se observa el paso a paso realizado para el levantamiento topográfico.

**Figura 5.** Proceso de elaboración del DEM.



### 3.4.2. Columna estratigráfica

Se analizó la estratigrafía del talud que rodea la quebrada Las Dolencias y el frente litoral (Gobernación de Antioquia & Universidad de Antioquia, 2023). Por medio de la medición de los espesores de los estratos, su granulometría y naturaleza de los sedimentos realizadas por Gob.ANT, UdeA, UNAL, UNINORTE, (2021) & Universidad de Antioquia, (2023). Esta información se consignó en un registro estratigráfico que permitió determinar las características los suelos muestreados.

**3.5. Análisis fisicoquímico en el cuerpo de agua (*in situ*) (Enfocado al objetivo específico 2)**

Como complemento a las mediciones de suelo, se realizó un monitoreo de los parámetros fisicoquímicos del agua de la quebrada Las Dolencias. Para esto, se midieron parámetros como pH, salinidad, oxígeno disuelto, temperatura, potencial redox y sólidos totales disueltos. El instrumento utilizado fue un multiparámetro HANNA HI98494. La medición se realizó siguiendo el orden secuencial desde la zona alta a la zona baja y con una medición adicional del agua de mar. Es importante destacar que, debido a las condiciones climáticas, especialmente durante la época húmeda (mes de septiembre) la desembocadura estuvo abierta y el agua de Las Dolencias experimentó interacción con el mar.

El tercer objetivo específico se elabora tomando como base los elementos previamente mencionados.



## 4. Resultados y discusión

### 4.1 Cobertura vegetal

De acuerdo con el inventario forestal de las especies nativas del área de estudio, se identificaron 148 individuos en total, de los cuales se identificaron 19 especies pertenecientes a 14 familias (Tabla 4). El inventario completo puede ser consultado en el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

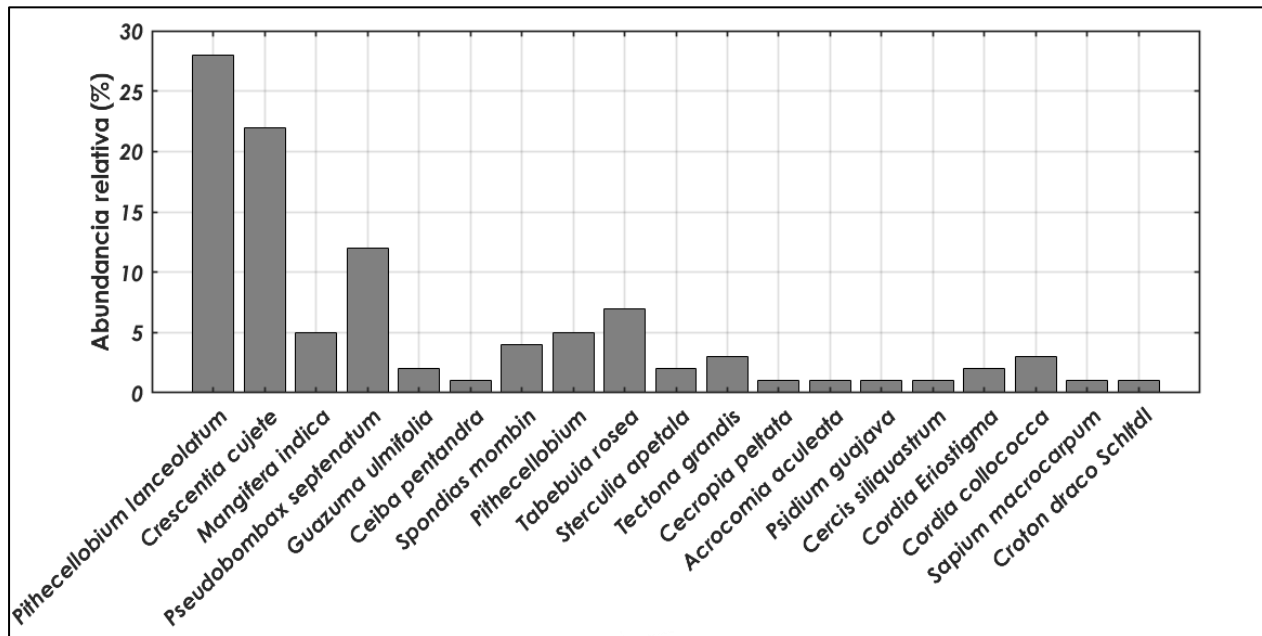
**Tabla 4.** Inventario forestal de las especies nativas del Laboratorio Costero de la UdeA. (\*) taxones maderables.

Familia	Especie	Numero de ind.	Autor
Anacardiaceae	<i>Mangifera indica</i>	7	L., 1753
Anacardiaceae	<i>Spondias mombin</i> *	6	L., 1753
Arecaceae	<i>Acrocomia aculeata</i>	1	(Jacq.) Lodd. ex Mart, 1845
Bignoniaceae	<i>Crescentia cujete</i> L	32	L., 1753
Bignoniaceae	<i>Tabebuia rosea</i> (Bertol.) *	10	(Bertol.) Bertero ex A.DC, 1845
Bombacaceae	<i>Pseudobombax septenatum</i> *	18	(Jacq.) Dugand, 1943
Boraginaceae	<i>Cordia collococca</i>	5	L., 1759
Boraginaceae	<i>Cordia eriostigma</i>	3	--
Fabaceae	<i>Pithecellobium lanceolatum</i>	42	Humb. & Bonpl. ex Willd.) Benth
Fabaceae	<i>Pithecellobium</i>	7	Mart. 1837
Malvaceae	<i>Ceiba pentandra</i>	1	(L.) Gaertn., 1791
Malvaceae	<i>Guazuma ulmifolia</i>	3	Lam
Malvaceae	<i>Sterculia apetala</i>	2	Jacq. H. Karst.
Myrtaceae	<i>Psidium guajava</i>	2	L., 1753
Urticaceae	<i>Cecropia peltata</i>	1	L., 1759
Verbenaceae	<i>Tectona grandis</i> L.f.*	5	L.
Cesalpínacea	<i>Cercis siliquastrum</i>	1	L., 1753
Euphorbiaceae	<i>Sapium macrocarpum</i>	1	Müll.Arg.
Euphorbiaceae	<i>Croton draco</i> Schltld.	1	Schltld. & Cham., 1831

Modificado de: (Gobernacion de Antioquia & Universidad de Antioquia, 2021)

El análisis de abundancia relativa de las especies identificadas indica que la especie más abundante en el laboratorio costero es *P. Lanceolatum* con 28% (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

**Figura 6.** Abundancia relativa de las especies nativas identificados en el Laboratorio Costero.



Modificado de: (Gobernación de Antioquia & Universidad de Antioquia, 2021)

(Maldonado-Peralta *et al.*, 2021) señalan que esta especie es propia de regiones tropicales y subtropicales, desde el nivel del mar hasta los 1800 metros sobre el nivel del mar (msnm). Se trata de un árbol de rápido crecimiento, típicamente silvestre y que se adapta bien a diferentes condiciones de suelos debido a su sistema de raíces pivotantes, profundas y extensas. Esto le permite adaptarse y sobrevivir en condiciones de sequía e incluso en áreas ocasionalmente inundadas con agua dulce o salobre. Debido a su morfología arbórea se puede plantar como cerco vivo, alcanzando alturas que oscilan entre 5 y 15 metros, aunque algunos individuos pueden superar los 25 metros de altura y un diámetro de hasta 50 cm (Guízar & Sánchez, 1991; Maldonado-Peralta *et al.*, 2021).

En segundo lugar, de mayor abundancia la especies. *Cujete* con 22%, seguida de *P. Septenatum* con 12%. Calle & Murgueitio (2020), destacan que esta segunda especie presenta gran capacidad de adaptación a diversos ecosistemas, encontrándose distribuida a lo largo de las cinco regiones geográficas de Colombia, desde el nivel cero del mar en la región Caribe hasta los 1500 msnm en la zona andina. Además, no solo puede desarrollarse en suelos profundos de

textura arcillosa a franco-arcillosa, sino que también demuestra una notable tolerancia a suelos empobrecidos en nutrientes, con deficiente drenaje y sujetos a inundaciones periódicas. Esta especie arbórea muestra una clara preferencia por condiciones de alta luminosidad y una estación seca bien definida.

La *P. Septenatum* es un árbol característico de climas secos a húmedos o muy húmedos, con una notable capacidad de adaptación. Se desarrolla bien en zonas con altitudes que van desde 0 hasta 1.500 metros, mostrando resistencia a la sequía y con nivel freático alto. Este árbol puede alcanzar entre 20 y 35 metros de altura y un diámetro de 45 a 100 centímetros, con un tronco único que se abulta inmediatamente arriba de la base y sin espinas (Gómez *et al.*, 2013). Esta especie ofrece diferentes servicios como árbol melífero y se siembra para fines ornamentales, su madera es empleada para la fabricación de postes y estacas, pelos algodonosos del fruto se utilizan para rellenar almohadas y colchones, y la corteza es aprovechada en la fabricación de cuerdas y sogas. Asimismo, las flores de este árbol son consumidas por la fauna silvestre, contribuyendo a la biodiversidad local (Gómez *et al.*, 2013).

Adicionalmente, los índices de diversidad biológica en el área de estudio indicaron evidenciaron que el área posee una diversidad biológica significativa. El índice de Margalef reveló un valor de 3.6, indicando una diversidad media de especies, lo que sugiere la presencia de una variedad considerable de organismos. Además, el índice de Menhinick arrojó un valor de 1.5, señalando una alta riqueza de especies en el área, lo que es crucial para la estabilidad y funcionalidad del ecosistema. Por último, el índice de Simpson mostró un valor de 0.15, indicando una baja probabilidad de que dos organismos seleccionados al azar pertenezcan a la misma especie, lo que sugiere una baja dominancia en el área y una alta diversidad de especies.

**Tabla 5.** Índices de diversidad biológica en el área de estudio.

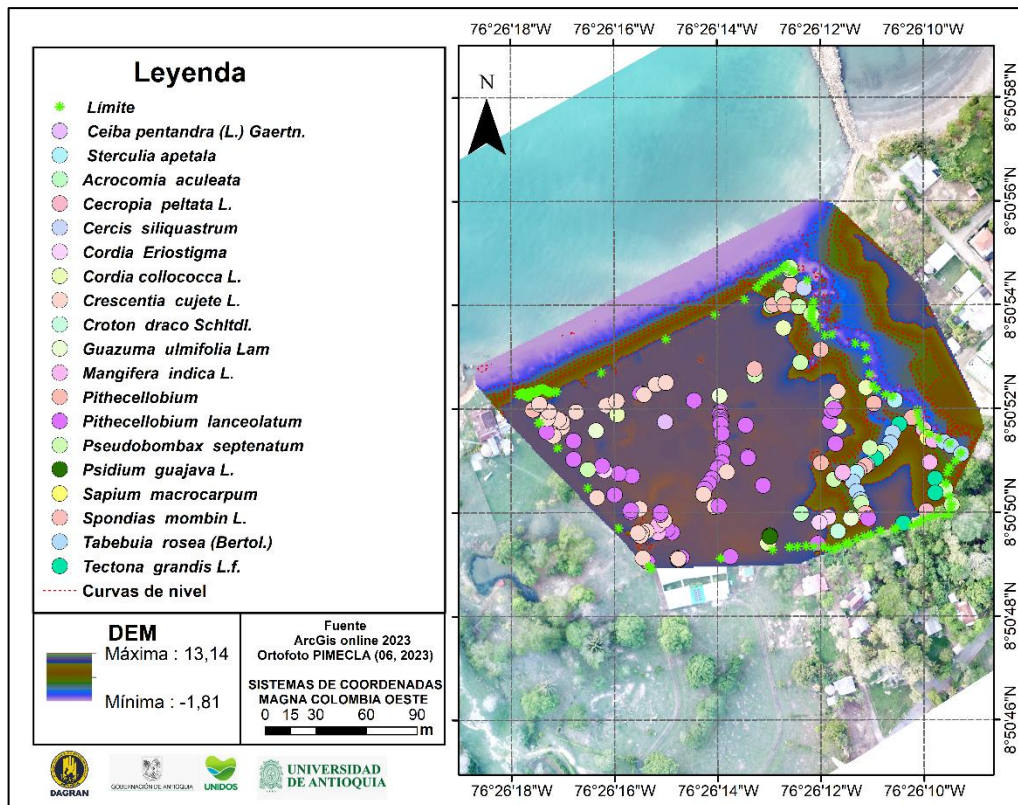
índice	Valor
Margalef	3.6
Menhinick	1.5
Simpson	0.15

Modificado de: (Gobernacion de Antioquia & Universidad de Antioquia, 2021)

A pesar de que en el inventario forestal no aparece la especie *Rhizophora mangle*, en los recorridos realizados se encontraron algunos individuos que se establecieron en la ribera de la quebrada y cerca a la desembocadura. Estos hallazgos subrayan el potencial del área de la quebrada para ser utilizada para el establecimiento de mangle. Es importante destacar que especies como *R mangle* suelen establecerse en zonas cercanas a canales de inundación y con influencia de mareas (McKee, 1995; Spalding *et al.*, 2010; Rabaza, 2019).

Por otro lado, el Modelo Digital de Elevación (DEM) y la ubicación de los árboles nativos (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), sugieren que la topografía ejerce una influencia significativa en la distribución de la vegetación. Esta observación se alinea con la investigación de Gu *et al.* (2024), la cual destaca que elementos topográficos como la elevación y la pendiente desempeñan un rol fundamental en los patrones de crecimiento de la vegetación. Estos hallazgos apuntan a que la configuración del terreno puede ser un factor determinante en la distribución y desarrollo de los ecosistemas vegetales.

**Figura 7.** Ubicación de la vegetación nativa.



En la figura 7 se observa como algunos individuos de la especie *P. Lanceolatum* alcanzan una altura de 13 m, lo que los distingue de otros miembros de su especie que se encuentran en la cárcava, donde la altura promedio es de aproximadamente 8 metros. Además, se evidencia la presencia de otras especies en la zona, como *T. Grandis*, *T. Rosea*, *P. Septenatum*, *S. mombin* y *M. Indica*, que se sitúan en la parte media de la cárcava, con alturas que oscilan entre 5 y 3 metros.

Por otro lado, se observan individuos de las especies *G. Ulmifolia* y *C. Siliquastrum* con una altura entre 2 y 3 m, mostrando una interacción cercana con el cuerpo de agua y una posible influencia del mar. Se destaca la concentración de la especie *C. Cujete* en el lado izquierdo del Laboratorio Costero, con alturas promedio de 12 m. Esta especie se establece cerca del cambio abrupto en la geoforma del talud, indicando una posible preferencia por las condiciones topográficas y edáficas específicas en esa zona. Sin embargo, no se observa la presencia de otras especies con una proximidad tan marcada al cambio de altura en el talud.

Estos resultados revelan una zonificación entre las especies, lo que sugiere una preferencia de ubicación por parte de cada especie. Se destaca que la mayoría de las especies se encuentran en las proximidades del afluente de agua, lo que sugiere una estrecha relación entre la presencia de estas especies y la disponibilidad de agua en el entorno.

En consecuencia, este análisis utilizando el Modelo Digital de Elevación (DEM) se posiciona como una herramienta clave que facilita la comprensión de la zonación de la vegetación en el área de estudio, ofreciendo resultados que permiten conocer tanto el estado de las especies presentes en el área como las características geomorfológicas del entorno.

#### **4.2. Condiciones de suelo**

De acuerdo con IGAC (2007) los suelos del Laboratorio Costero entran en la Asociación Arboletes. Estos están caracterizados por estar en una planicie fluvio marina, con un relieve de terrazas y con sedimentos mixtos fluvio marinos como materiales parentales. Estos son suelos profundos desarrollados a partir de los materiales finos de la capa superficial (1 m a 3 m de espesor) de la terraza. Además, tiene un régimen de temperatura isohipertémico y régimen de humedad ústico.

En el caso del Laboratorio, el área tiene una pendiente plana a casi plana en la parte superior de la terraza, y pasa a fuertemente inclinada como consecuencia del cárcavamiento en vertientes como la quebrada las Dolencias (Gobernación de Antioquia & Universidad de Antioquia, 2021). El drenaje natural varía de moderado a pobre y presentan algunos encharcamientos en época de lluvias. En época seca se observan grietas amplias y profundas en algunos sitios de la parte plana de la terraza donde la textura es muy arcillosa y predominan las arcillas expansibles.

#### 4.2.1. Análisis fisicoquímico del suelo

Los valores de estas variables se muestran en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

**Tabla 6.** Análisis fisicoquímico de suelo en el área de estudio.

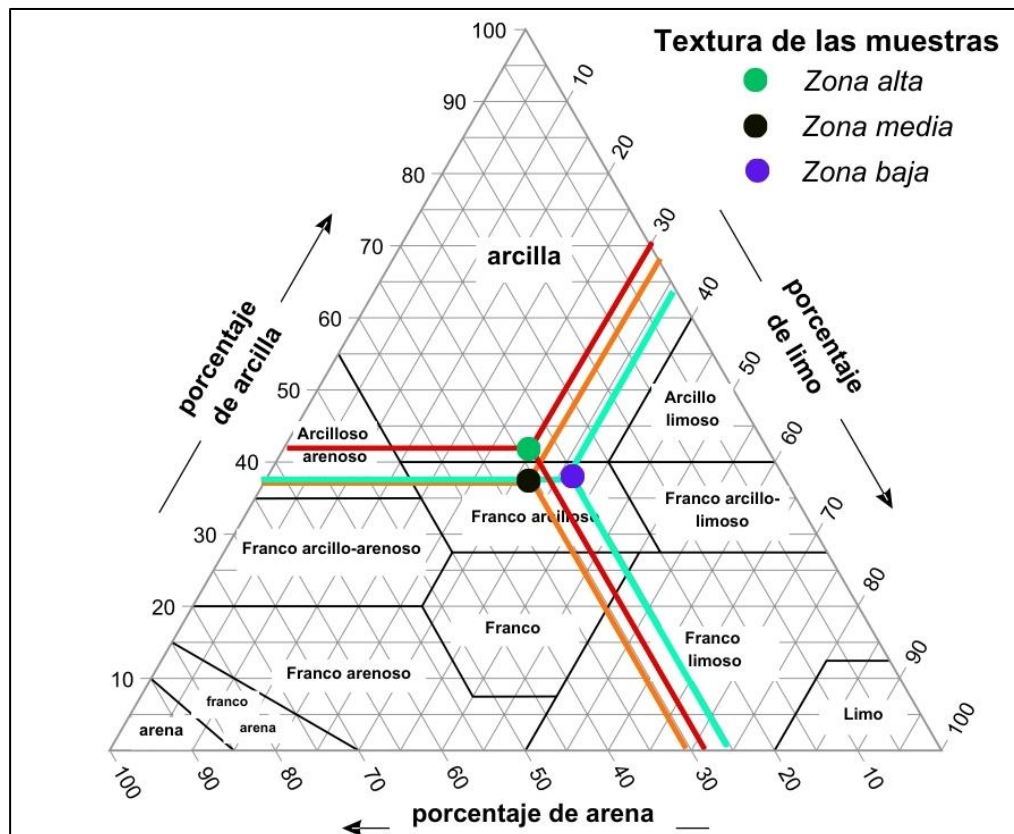
		<b>Zona</b>		
		<b>Zona alta</b>	<b>media</b>	<b>Zona baja</b>
Textura	A%	28	30	26
	L%	30	32	36
	Ar%	42	38	38
	CTx	Ar	FAr	Far
pH		6,9	7,0	7,4
%	MO	1,81	1,46	1,24
	CO	1,05	0,85	0,72
Cmol/(+)/kg	Al	N.A.	N.A.	N.A.
	Ca	11,10	22,10	9,19
	Mg	6,65	8,55	7,19
	K	0,20	0,60	0,24
	CICE	17,95	31,25	16,62
dS/m	CE	0,50	1,29	1,00
mg/kg	P	16,22	5,26	3,07
	Fe	35,89	84,72	16,23
	Mn	13,24	15,84	5,22
	Cu	2,88	4,06	1,60
	Zn	0,68	1,73	0,38
	B	1,00	1,22	0,97

#### 4.2.1.1. Textura del suelo

La textura es la proporción relativa de arena, limo y arcilla presentes en un suelo. Esta característica tiene un impacto significativo en propiedades fundamentales del suelo, como la capacidad de retención de agua, aireación, drenaje, susceptibilidad a la erosión, permeabilidad y fertilidad (Jaramillo, 2002; Arribas García, 2015; Bravo *et al.*, 2017).

Los resultados indican que la textura es franca-arcillosa para las tres muestras (Figura 8).

**Figura 8.** Textura de los suelos del área de estudio.



Modificado de: (Soil Science Division Staff, 2017)

Respecto a la zona alta se observa que los porcentajes de arena, limo y arcilla están en el límite de la textura arcillosa (Ar) hacia la franca-arcillosa (FAR). Mientras que en la zona media y baja presentan porcentajes de arena, limo y arcilla que se ubican en la textura Franca-arcillosa (Far).

Esta textura franco-arcillosa permite la retención de cationes intercambiables y el flujo de agua en la matriz del suelo asegurando una permeabilidad moderada del mismo (Jaramillo, 2002).

#### 4.2.1.2. pH del suelo

Los valores de PH del suelo dan cuenta de su grado de acidez o alcalinidad. Estos valores influyen en las características físicas, químicas y en el comportamiento de la biota del suelo. La matriz del suelo se considera ácida cuando puede ceder protones y formar iones hidronio [H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>] y básica o alcalina cuando recibe protones del agua y origina iones hidróxido [OH<sup>-</sup>] (IGAC, 2007). En términos generales los suelos pueden agruparse en tres grandes categorías:

- Suelos ácidos: pH < 6,5
- Suelos neutros: pH entre 6,5 y 7,3
- Suelos básicos: pH > 7,3

De manera detallada, en términos de su PH los suelos se pueden clasificar de acuerdo con la Tabla 7. Es de notar que esta calificación del suelo es determinada en agua en proporción 1:1.

**Tabla 7.** Calificación del suelo en función del pH determinado en agua 1:1.

Clase	Valor de pH
Ultra ácido	< 3,5
Extremadamente ácido	3,5–4,4
Muy fuertemente ácido	4,5–5,0
Fuertemente ácido	5,1–5,5
Moderadamente ácido	5,6–6,0
Ligeramente ácido	6,1–6,5
Neutro	6,6–7,3
Ligeramente alcalino	7,4–7,8
Moderadamente alcalino	7,9–8,4
Fuertemente alcalino	8,5–9,0
Muy fuertemente alcalino	> 9,0

Tomado de: (Soil Science Division Staff, 2017)

Desde el punto de vista agronómico, cada especie arbórea tiene un valor óptimo de pH y unos intervalos de tolerancia para su desarrollo. Sin embargo, la mayoría se comportan de manera



adecuada con pH entre 5,5 y 6,7. Es de notar que este intervalo permite tener una disponibilidad de elementos esenciales (Guerrero,1991, citado por Jaramillo, 2002).

De acuerdo con la Tabla 6, los suelos en las zonas alta y media presentan pH neutro con valores de 6,9 y de 7,0 respectivamente. Mientras que, el suelo de la zona baja es ligeramente alcalino con un valor de 7,4.

Es de notar que en la quebrada Las Dolencias se tiene vegetación nativa adaptada a estas condiciones de pH neutro. Esto sugiere una ventaja que permita establecer especies con estos requerimientos específicos en las zonas alta y media. Y hacia la zona baja es posible establecer especies nativas que toleren suelos neutros a ligeramente alcalinos.

#### **4.2.1.3. Materia Orgánica (MO) y Carbono Orgánico (CO)**

La materia orgánica es esencial en los suelos porque favorece la formación de su estructura, mejora el espacio poroso y por ende la aireación, infiltración y drenaje. Además, aumenta la capacidad buffer, de retención de agua, friabilidad y la capacidad de intercambio catiónico (CIC). Entre otras cosas disminuye la pegajosidad, plasticidad, encostramiento superficial y el pH. Finalmente, proporciona nutrientes en el proceso de mineralización, favorece la disponibilidad de algunos elementos menores y puede almacenar agroquímicos o metales pesados tóxicos por medio de la formación de compuestos órgano- metálicos, evitando que estos salgan del suelo (Jaramillo, 2002).

La cantidad de materia orgánica (MO) y carbono orgánico (CO) en un suelo dependen del tipo de materiales orgánicos que tiene el suelo y de la velocidad a la que se descomponen. En condiciones de alta humedad, aireación y temperatura la MO se descompone muy rápido permitiendo la liberación de Nitrógeno y Carbono. Por tanto, en estas condiciones las cantidades de MO y CO son menores cuando se comparan con ambientes de baja temperatura, humedad y aireación.

Los resultados sugieren una disminución de la MO y el CO desde la zona alta hacia la zona baja. Esto puede obedecer a cambios locales de la vegetación, aireación y humedad del suelo. En general, los suelos del Laboratorio Costero, las cantidades de MO y CO son bajas al compararlos con suelos de tierra fría o con suelos orgánicos (Jaramillo, 2002).

#### 4.2.1.4. Capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE)

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es la medida de la capacidad que tiene un suelo de adsorber cationes ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{NH}_4^+$ ). Estos son retenidos principalmente por las arcillas y la materia orgánica del suelo. Los cationes se pueden intercambiar y quedan disponibles para la nutrición de las plantas, además de quedar protegidos de la pérdida o lavado por procesos de lixiviación (Jaramillo, 2002). La capacidad de retención de las arcillas depende del tipo de arcilla y mientras más arcilla y más materia orgánica tenga un suelo más cationes puede retener.

La capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) es la CIC permanente o real del suelo y equivale a la suma de los cationes (bases) más los aniones (aluminio e hidrogeno). Una CIC mayor de 20 cmol/kg se considera alta, entre 10 y 20 cmol/kg media y menor de 10cmol/kg se considera baja (IGAC, 2007).

De acuerdo con los resultados obtenidos, la CICE de los suelos de la zona media se considera alta (31 cmol/kg). Mientras que la CICE es media en la zona alta (17,9 cmol/kg) y baja (16,6 cmol/kg).

#### 4.2.1.5. Porcentaje de saturación de bases: $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{K}^+$ y $\text{Na}^+$

La saturación de bases permite determinar la disponibilidad de nutrientes para las plantas, es una relación de la proporción de cada base con la CIC.

Esta permite determinar la disponibilidad de nutrientes para las plantas, ya que determina la proporción de cationes básicos (Ca, Mg, K y Na) con respecto a la capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo. Una saturación de bases alta generalmente indica un suelo fértil, ya que proporciona una mayor disponibilidad de nutrientes para las plantas. En el caso específico de las planicies fluvio-marinas con geoforma de terrazas, la presencia abundante de cationes como el Ca y el Mg, y los cationes K y Na se encuentran en menor cantidad (Jaramillo, 2002).

De esta manera, para el cálculo de porcentaje de saturación de bases para Ca, Mg y K para la zona alta, media y baja se empleó la ecuación 1.

$$\text{Saturación} = \frac{(C^+)}{CICE} * 100 \quad (1)$$

Para Ca se obtuvieron los siguientes valores:

$$\text{Saturación} = \frac{11,10 \text{Cmol}/(+)/\text{kg}}{17,95 \text{Cmol}/(+)/\text{kg}} * 100 = 61,83\% \text{ (Zona alta)}$$

$$\text{Saturación} = \frac{22,10 \text{Cmol}/(+)/\text{kg}}{31,25 \text{Cmol}/(+)/\text{kg}} * 100 = 70,72\% \text{ (Zona media)}$$

$$\text{Saturación} = \frac{9,19 \text{Cmol}/(+)/\text{kg}}{16,62 \text{Cmol}/(+)/\text{kg}} * 100 = 55,29\% \text{ (Zona baja)}$$

Para Mg:

$$\text{Saturación} = \frac{6,65 \text{Cmol}/(+)/\text{kg}}{17,95 \text{Cmol}/(+)/\text{kg}} * 100 = 37,04\% \text{ (Zona alta)}$$

$$\text{Saturación} = \frac{8,55 \text{Cmol}/(+)/\text{kg}}{31,25 \text{Cmol}/(+)/\text{kg}} * 100 = 27,36\% \text{ (Zona media)}$$

$$\text{Saturación} = \frac{7,19 \text{Cmol}/(+)/\text{kg}}{16,62 \text{Cmol}/(+)/\text{kg}} * 100 = 43,26\% \text{ (Zona baja)}$$

Para K:

$$\text{Saturación} = \frac{0,20 \text{Cmol}/(+)/\text{kg}}{17,95 \text{Cmol}/(+)/\text{kg}} * 100 = 1,11\% \text{ (Zona alta)}$$

$$\text{Saturación} = \frac{0,60 \text{Cmol}/(+)/\text{kg}}{31,25 \text{Cmol}/(+)/\text{kg}} * 100 = 1,92\% \text{ (Zona media)}$$

$$\text{Saturación} = \frac{0,24 \text{Cmol}/(+)/\text{kg}}{16,62 \text{Cmol}/(+)/\text{kg}} * 100 = 1,44\% \text{ (Zona baja)}$$

La saturación de calcio (Ca) varía entre el 55% y 70%, considerada normal, mientras que la saturación de magnesio (Mg) se encuentra en un rango entre el 27% y 43%, indicando una saturación de normal a alta. Por otro lado, la saturación de potasio (K) presenta valores entre el 1% y 2%, indicando una baja saturación.

Estos resultados sugieren una adecuada disponibilidad de calcio y magnesio para las plantas en el área de estudio. Sin embargo, la baja saturación de potasio puede tener implicaciones en la nutrición y el crecimiento de las plantas, ya que el potasio es un nutriente esencial para diversos procesos fisiológicos.

#### 4.2.1.6. Conductividad eléctrica

Es su capacidad de transmitir electricidad y está directamente relacionada con un contenido de sales más solubles que el yeso en la solución del suelo, las clases de salinidad se pueden encontrar en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

**Tabla 8.** Clases de salinidad del suelo.

Clase de salinidad	Conductividad eléctrica ds/m
No salino	<2
Muy ligeramente salino	2 a <4
Ligeramente salino	4 a <8
Moderadamente salino	8 a <16
Fuertemente salino	≥ 16

Tomado de: (Soil Science Division Staff, 2017)

De acuerdo con los resultados obtenidos en la Tabla 5, los suelos del área de estudio tienen valores de entre 0 y 2 dS/m, lo cual los convierte en no salinos y ligeramente salinos.

#### 4.2.1.7. Elementos menores

Los elementos esenciales para la nutrición de las plantas superiores se clasifican en elementos mayores y menores, dependiendo de si las plantas los requieren en cantidades relativamente grandes o pequeñas. Los elementos mayores, que se necesitan en cantidades altas, incluyen nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S). Por otro lado, los elementos menores, que se necesitan en cantidades más reducidas, son hierro (Fe), manganeso (Mn), boro (B), molibdeno (Mo), cobre (Cu), zinc (Zn) y cloro (Cl) (Zekri & Obreza, 2003; Hänsch & Mendel, 2009; Tariq, *et al.*, 2023)

La disponibilidad adecuada de estos elementos en el suelo es fundamental para el desarrollo saludable de las plantas. Sin embargo, los valores óptimos de estos elementos pueden variar según el tipo de planta y su adaptación a las condiciones del suelo.

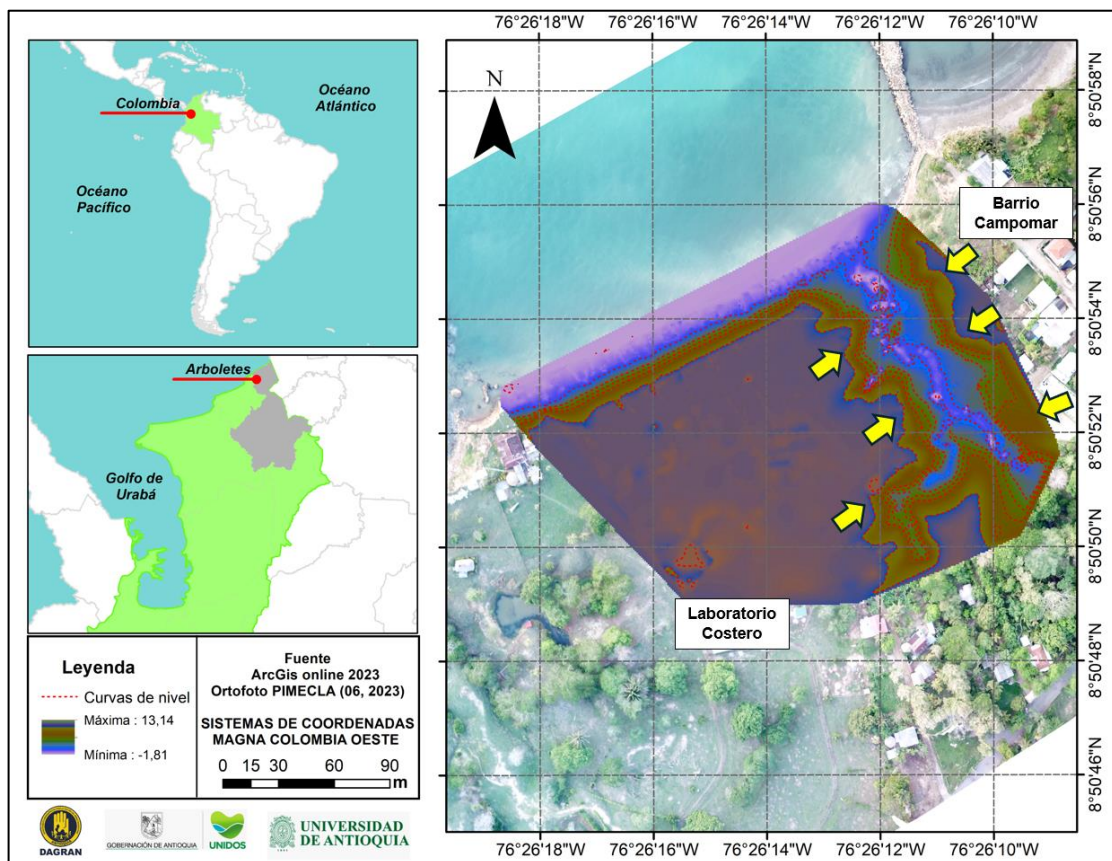
En este sentido, para las zonas alta, media y baja establecidas en el área de estudio, se encontró valores para el manganeso (Mn), que oscilaron entre 5,22 mg/kg en la zona baja y 15,84 mg/kg en la zona media. En cuanto al cobre (Cu), las concentraciones

fluctuaron desde 1,60 mg/kg en la zona baja hasta 4,06 mg/kg en la zona media. El zinc (Zn) mostró niveles entre 0,38 mg/kg en la zona baja y 1,73 mg/kg en la zona media. Respecto al boro (B), los valores se ubicaron en un rango de 0,97 mg/kg en la zona baja y 1,22 mg/kg en la zona media. Para el fósforo (P), se obtuvieron valores que oscilaron entre 3,07 mg/kg para la zona baja y 16,22 mg/kg para la zona alta. En cuanto al hierro (Fe), las concentraciones variaron desde 16,23 mg/kg en la zona baja hasta 35,89 mg/kg en la zona alta, destacando un valor anormalmente alto de 84,72 mg/kg en la zona media.

### 4.3 Levantamiento topográfico

En el DEM del área de estudio, se destaca la geoforma de terraza y en colores pardos a azules, las diferencias de nivel que marcan la cárcava y el talud del acantilado de la terraza (Figura 9).

**Figura 9.** Modelo de elevación (DEM) del Laboratorio Costero, con detalle en área de estudio.



---

La cárcava, (flechas amarillas) abarca desde el barrio Campo Mar (margen derecho) hasta del Laboratorio Costero de la UdeA (margen izquierdo). Por esta incisión se concentra el flujo de agua en época de lluvia y en época seca, transporta las aguas residuales que provienen de las viviendas de la parte alta de la quebrada. Los datos muestran una elevación máxima de 13,14 msnm en la parte más alta, mientras que en la parte baja tiene una profundidad mínima de -1,81 msnm.

La presencia de esta cárcava sugiere una evolución geomorfológica en esta área, impulsada por procesos de erosión lineal y fluvial (Gobernación de Antioquia & Universidad de Antioquia , 2023). Por lo tanto, la quebrada Las Dolencias podría representar un proceso de carcavamiento en la terraza marina, especialmente en zonas con suelos menos compactos. Esta incisión se pudo haber producido por el flujo concentrado de aguas de escorrentía; lo que coincide con la observación de (Bravo-Espinoza *et al.*, 2010), que señalan que las aguas tienden a encauzarse hacia áreas de terreno cóncavo o donde el material es menos resistente, incrementando así la erosión y el tamaño de la cárcava.

Es importante destacar que la terraza marina está formada por estratos sedimentarios de diversas edades geológicas, con origen tanto marino como continental. Según el IGAC (2007), estos materiales superficiales son principalmente arcillosos y pertenecen a la Formación Arboletes.

#### **4.3.1 Columna estratigráfica**

La descripción de ésta fue realizada por Gob.ANT, UdeA, UNAL, UNINORTE (2021) y se hizo en el extremo sur del Laboratorio. En este lugar hay una sección del acantilado con pocas deformaciones y aún conserva su pendiente original **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

**Figura 10.** A) Acantilado donde se levantó la columna estratigráfica. B) descripción de la columna estratigráfica.

A)



B)

Escala	Litología	Textura	Procesos de interpretación
2,40 m		Arcillosa	Ambientes de baja energía
2,28 m		Limosos	Ambientes de baja energía
50 cm		Conglomerados redondeados con matriz soportada por arcillas oxidadas	Ambientes de alta energía
50 cm		Conglomerados redondeados con la matriz soportada por arcillas grises	Ambientes de muy alta energía

madamente 50 cm de espesor constituido por conglomerados redondeados, clasto soportado en una matriz arcillosa gris. A esta le suprayace un estrato de aproximadamente 50 cm de conglomerados redondeados, clasto soportado con matriz de arcillas con óxidos de hierro. Luego suprayace un estrato de 2,8 m, constituido por limos con estratos delgados de bioclastos marinos. Por último, se encuentra un estrato de aproximadamente 2,4 m. El techo de este estrato es el suelo actual, constituido por materiales finos (arcillas, limos y arenas muy finas a finas).

De acuerdo con lo anterior, la columna estratigráfica de la terraza presenta varios estratos, con materiales litológicos diferentes, entre ellos arcillas, limos, conglomerados de gravas y lentes de arena. Esta composición pudo ser uno de los factores que favoreció el proceso de carcavamiento dando como resultado la quebrada las Dolencias.

Tomado de:  
 Gob.A  
 NT,  
 UdeA,  
 UNAL,  
 UNIN  
 ORTE  
 (2021).

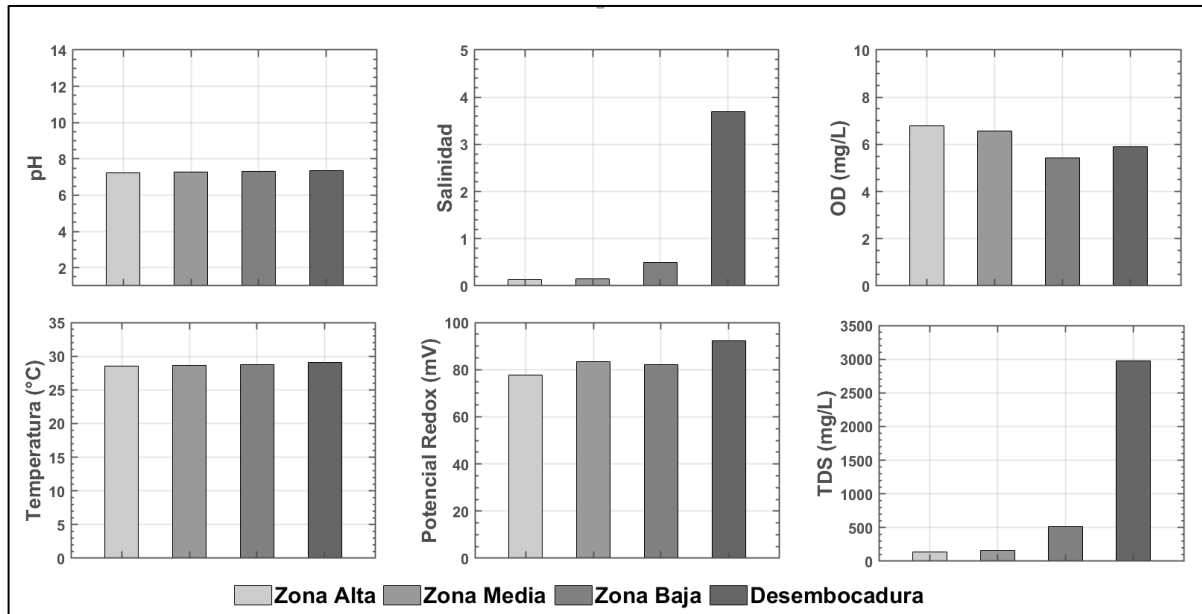
L

a base  
 de la  
 colum  
 na es  
 un  
 estrat  
 o de  
 aproxi

#### 4.4. Análisis fisicoquímico en la quebrada las Dolencias

De acuerdo con el análisis fisicoquímico, se obtuvieron los siguientes resultados (Figura 11).

**Figura 11.** Análisis fisicoquímico en la quebrada las Dolencias.



El pH se mantuvo constante en un valor de 7 en todas las zonas, lo que sugiere una neutralidad en las condiciones del entorno. En cuanto a la salinidad, se observó que no hubo variaciones significativas entre la zona baja y alta, manteniéndose en valores que van desde 0.13 g/m<sup>3</sup> hasta 0.50 g/m<sup>3</sup>, mientras que en la desembocadura se evidencia un incremento con un valor de 3.7 g/m<sup>3</sup>.

Se obtuvieron valores del oxígeno disuelto con un máximo de 6,8 mg/l en la zona alta y un mínimo de 5,4 mg/l para la zona baja. La temperatura del agua registró poca variación y se mantuvo dentro de un intervalo entre 28.5°C y 29.0°C. En el caso del afluente de agua, los valores de pE obtenidos sugieren diferentes condiciones redox en cada zona. La zona alta presenta un valor inicial de 77,7 mV, indicando cierta tendencia hacia la reducción en comparación con las otras zonas. A medida que se avanza hacia la zona media, se observa un aumento progresivo en el pE, alcanzando un valor de 83,5 mV. Esto sugiere un cambio hacia condiciones más oxidantes en esa zona específica. Posteriormente, en la zona baja del afluente, se registra una disminución en el pE a 82,0 mV. Esto indica una ligera tendencia hacia la reducción



---

en comparación con la zona media. Por último, en la zona de la desembocadura del cuerpo de agua, se observa un valor de pE de 92,1 mV, indicando una mayor tendencia hacia la oxidación en esta área.

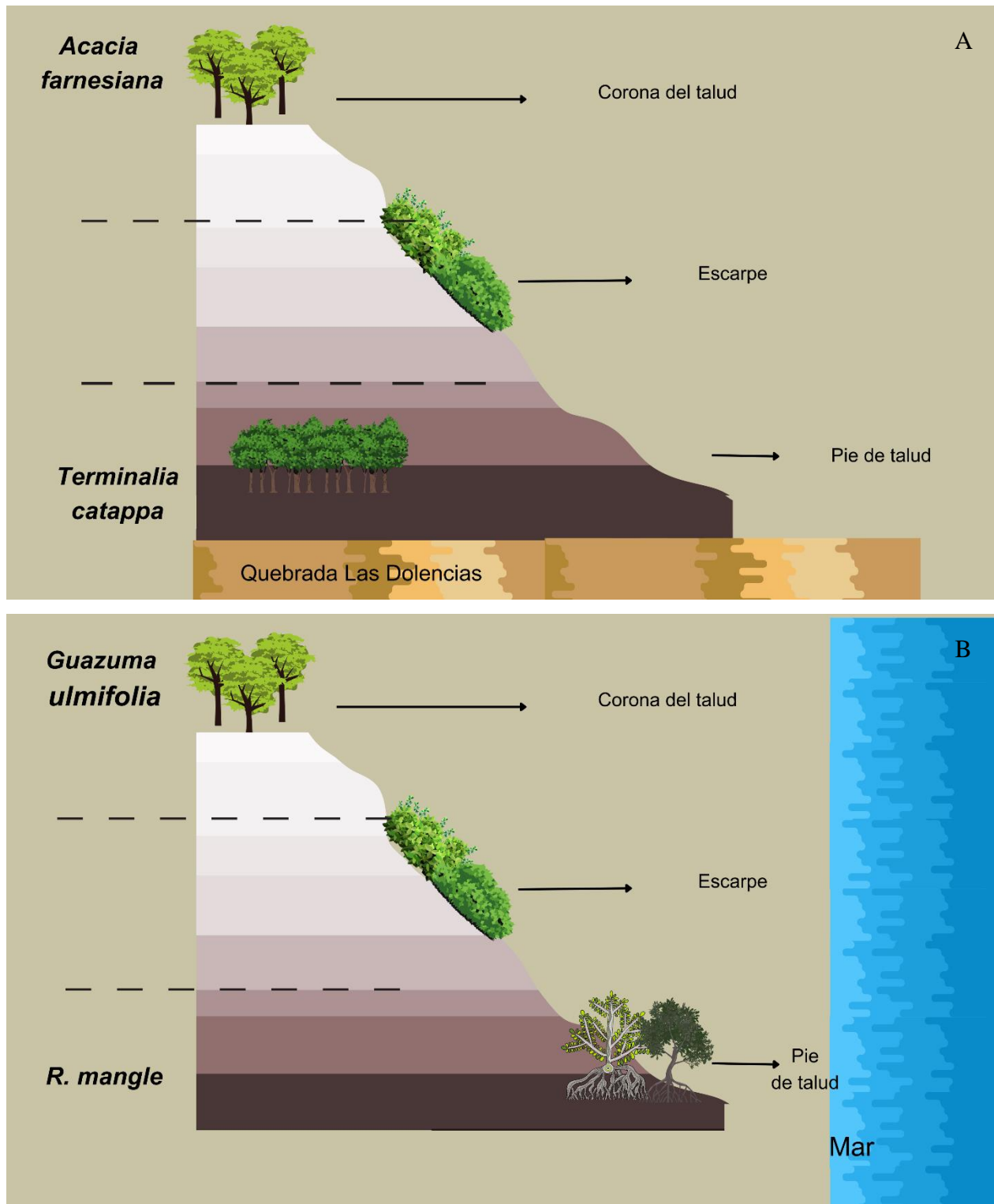
Los valores de sólidos disueltos (TDS) en la desembocadura tuvieron valores de 2,970 mg/L, en la zona baja de 515 mg/L y en la zona media de 157 mg/L y alta 137 mg/L. Es importante destacar que la influencia del mar en la desembocadura contribuye al incremento en la cantidad de sólidos disueltos, lo que podría explicar los valores más altos de salinidad en esa zona. Es de notar que los resultados son de época húmeda y pueden variar en época seca por el cierre de la desembocadura de la quebrada.

#### **4.6. Condiciones para la protección del talud**

Con base en los resultados del modelo de elevación digital (DEM), la caracterización arbórea y los análisis de muestras de suelo, se proponen algunas especies vegetales para la protección del talud costero. Es importante tener en cuenta que se considera que las características de los suelos son homogéneas par Laboratorio Costero.

En la Figura 12 se muestra una vista longitudinal del Laboratorio Costero, donde se presentan las especies arbóreas que podrían establecerse en el talud. Es necesario tener en cuenta, que las especies *G. Ulmifolia*, *S. Apetala*, *R. mangle* y *C. Peltata* ya se identificaron en el Laboratorio Costero. Esto sugiere que pueden ser empleadas como especies para la protección.

**Figura 12.** A) Vista longitudinal de la ubicación de las especies en el talud de la cárcava. B) Vista latitudinal de la ubicación de las especies en el talud costero.



---

Se identificaron algunas especies que han demostrado adaptación en la parte superior del Laboratorio y la corona del talud. Entre estas se incluyen *Acacia farnesiana* (L.) Willd, utilizada para la reforestación de bosques secos y áreas de pastizales degradados, así como para la estabilización del suelo en regiones semiáridas degradadas (Francis et al., 2000). También se encontró que *Cecropia peltata* L, es usada por su capacidad para estabilizar ecosistemas después de una perturbación, como por ejemplo deslizamientos de tierra (Francis et al., 2000).

Por las condiciones de la parte inferior del talud costero, *R. mangle*, presenta condiciones únicas, como sus raíces aéreas, que le permiten sobrevivir en suelos inundados y salinos. Su establecimiento en este lugar podría contribuir a la estabilización del suelo y la protección contra la erosión costera.

Por otro lado, aunque *T. Catappa* no es tan resistente como *R. Mangle*, es una especie que se caracteriza por su resistencia a la salinidad y su capacidad para establecerse en estas condiciones (Thomson & Evans, 2006). Adicionalmente, *L. Racemosa*, es una especie que mostró una amplia distribución a lo largo de la cárcava. Es conocida por su capacidad para tolerar una amplia gama de condiciones salinas y suelos mal drenados (Lugo & Snedaker, 1974; Rodríguez-Zuñiga et al., 2013; Monroy-Torres et al., 2014; Ortiz-Múnera, 2020) y por lo tanto también se propone como alternativa para la zona inferior de la cárcava. Por lo que, las representaciones de la figura 12 ilustran cómo las especies propuestas, como *R. Mangle*, *L. Racemosa* y *T. Catappa*, pueden establecerse en el pie del talud.

Con base en lo anterior, en la Tabla 9 se muestran las especies que se consideran adecuadas para establecerse en la corona y el pie del talud, de acuerdo con las referencias revisadas y al inventario analizado. Es de notar que, en la parte del escarpe, se sugiere continuar con el establecimiento de arbustos (*Mimosa Pudica*, *Rhynchospora colorata* y *Brachiaria decumbens*) de acuerdo con los informes presentados por el proyecto PIMECLA.

**Tabla 9.** Especies de Bosque Seco Tropical (Bs-T) sugeridas para el Laboratorio Costero.

	Nombre científico	Nombre común	Características		Referencias
			pH	Suelo	
CORONA DE TALUD	<i>Acacia farnesiana</i> (L.) Willd.	Aromo	6,0- 8,0	Arcilloso Arenoso	2 – 5 (Francis <i>et al.</i> , 2000)
	<i>Pereskia bleo</i> (Kunth) DC	Chupa de queso	6,0- 7,5	Arenoso	1-8 (López <i>et al.</i> , 2016) (Estrada <i>et al.</i> , 2019)
	<i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg	Indio en cueros	5,0- 5,8	Arenoso Arcilloso	5 – 35 (Francis <i>et al.</i> , 2000)
	<i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Walp	Matarratón	5,5- 7,0	Arcilloso Francoarcilloso	2 – 20 (Braga <i>et al.</i> , 2022)
	<i>Cecropia peltata</i> L*	Yarumo	6,0- 7,5	Arcilloso	5 – 30 (Francis <i>et al.</i> , 2000)
	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam. *	Guásimo	> 5,5	Arcilloso Francoarcilloso	2 – 25 (López <i>et al.</i> , 2016)
	<i>Sterculia apetala</i> (Jacq.) Karst. *	Camajón	6,0*	Limosos arenosos	5 – 30 (Araujo & Velasquez, 2018)
	<i>Swietenia macrophylla</i> King	Caoba	6,5- 7,5	Arenosos Arcillosos	5 – 30 (López <i>et al.</i> , 2016) (Francis <i>et al.</i> , 2000)
	<i>Rhizophora mangle</i> *	Mangle rojo	3,0- 6,6	Pantanosos Arcilloso Arenosos	1 – 50 (Francis <i>et al.</i> , 2000)
	PIE DE TALUD	<i>Laguncularia racemosa</i>	Mangle Blanco	3,0- 6,6	Pantanosos Arcilloso Arenosos
<i>Terminalia catappa</i>		Almendra	6,6– 7,4	Limoso Arcilloso	2 – 16 (Thomson & Evans, 2006) (Francis <i>et al.</i> , 2000)

**Nota:** \* indicativo de especies comunes en el Laboratorio Costero. En relación con los valores de pH en la especie *T. Catappa*, no se encontró un valor cuantitativo, sino una evaluación cualitativa. Por lo tanto, se procedió a interpretar la información con base en la Tabla 6.

---

## 5. Conclusiones

A través del análisis de las condiciones forestales se logró evidenciar a una alta diversidad de especies vegetales, asociadas a la corona y escarpe del laboratorio costero, evidenciando que las especies nativas presentes en la pueden ser utilizadas como alternativas eficaces en la implementación de soluciones basadas en la naturaleza para mitigar los efectos de la erosión costera en el laboratorio costero y zonas circundantes del municipio de Arboletes.

En este sentido, la caracterización de las condiciones edáficas del suelo y su asociación con la vegetación proporcionó una comprensión integral de la interacción entre estos factores edáficos y la diversidad vegetal dentro del ecosistema. Es crucial enfatizar la importancia de especies como *G. Ulmifolia*, *S. Apetala*, *R. mangle* y *C. Peltata*, identificadas en el Laboratorio cuya adaptación a ambientes con estas características específicas ha sido validada en la literatura. Esto sugiere la relevancia de estas especies en el ecosistema costero y subraya su potencial para su uso en esfuerzos de conservación y restauración. Así mismo, se evidencio que la topografía del área desempeña un papel fundamental en la distribución de la vegetación, reflejando que la variación en la elevación, pendiente y otros aspectos topográficos influye directamente en la presencia y abundancia de especies vegetales en diferentes partes del terreno.

La identificación de especies vegetales adaptables al área de estudio desempeña un papel crucial en la conservación y restauración del talud costero. Específicamente, especies como *R. Mangle*, *L. Racemosa* y *T. Catappa* han demostrado poseer adaptaciones específicas que les permiten prosperar en las condiciones locales. Estas adaptaciones incluyen resistencia a la salinidad, tolerancia a condiciones extremas y la capacidad para estabilizar el suelo, características que las convierten en candidatas ideales para programas de restauración y conservación. En este sentido, la presencia y uso de estas especies nativas es fundamental en los procesos de protección costera, ya que su adaptación al entorno local les permite desempeñar un papel crucial en el restablecimiento de la biodiversidad y la funcionalidad del ecosistema costero.

## **6. Recomendaciones**

Se sugiere actualizar el inventario forestal para incluir especies de menor tamaño. Para el escarpe del talud, se recomienda identificar especies de arbustos que puedan generar un anclaje sólido y adaptarse eficazmente a las condiciones específicas del Laboratorio Costero.

Se sugiere realizar mediciones de DBO en la quebrada Las Dolencias, con el fin de obtener datos precisos que permitan llevar a cabo un análisis de la calidad del agua en esa área.

Es recomendable emplear modelos numéricos que posibiliten simular el proceso de establecimiento de las especies en las zonas costeras, teniendo en consideración las alturas y pesos propuestos por la literatura.

---

## 7. Referencias

- Alongi, D. (2007). Mangrove forests: Resilience, protection from tsunamis, and responses to global climate change. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 76(1), 1–13. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecss.2007.08.024>
- Araujo, V., & Velasquez, F. (2018). Estudio taxonómico y morfológico de 20 especies forestales en el bosque CICFOR-Macuya. Pucallpa-Perú.
- Arribas García, J. (2015). Evolución morfológica y erosiva de cárcavas naturales en la comarca de Saldaña (Palencia). *Tesis de maestría*.
- Barreto Silva, J., Ramírez Echeverry, S., Peña, M., Capachero, C., Barbosa, A., Panev, M., . . . Moreno, L. (2018). *Manual de Campo Inventario Forestal Nacional Colombia*. Bogotá, Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- Braga, Í., Sousa, C., & Souza, M. (2022). Deep Untargeted Metabolomics Analysis to Further Characterize the Adaptation Response of *Gliricidia sepium* (Jacq.) Walp. to Very High Salinity Stress. *Frontiers in Plant Science*, 13. <https://doi.org/https://doi.org/10.3389/fpls.2022.869105>
- Bravo, C., Ramírez, A., Marín, H., Alemán, R., Torres, R., Navarrete, H., & Changoluisa, D. (2017). Factores asociados a la fertilidad del suelo en diferentes usos de la tierra de la Región Amazónica Ecuatoriana. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 18(11), 1-16.
- Bravo-Espinoza, M., Mendoza, M., Medina-Orozco, L., & Sáenz-Reyes, T. (2010). Características y control de cárcavas. *Terra Latinoamericana*, 28(3), 281-285.
- Calle, Z., & Murgueitio, E. (2020). *Árboles nativos para predios ganaderos. Especies focales del Proyecto Ganadería*. CIPAV, Cali Colombia. 346 p.
- CIOH. (1993). Estudio geológico e hidrológico del Golfo de Urabá. 14, 79-90. *Boletín Científico, CIOH*. <https://doi.org/https://doi.org/10.26640/22159045.62>
- CORPOURABÁ, & UNIVERSIDAD NACIONAL. (1998). Evaluación de Zonas de Erosión Crítica en el Litoral Caribe Antioqueño. [Informe final (1999)] *Posgrados en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos*. Medellín.

- 
- Correa, I., & Paniagua, J. (2016). The Arboletes-Punta Rey Littoral, Southern Caribbean Coast. In: Hermelin, M. (eds) *Landscapes and Landforms of Colombia. World Geomorphological Landscapes*. Springer, Cham. <https://doi.org/https://doi-org.udea.lookproxy>
- Correa, I., & Vernet, G. (2014). INTRODUCCIÓN AL PROBLEMA DE LA EROSIÓN COSTERA LITORAL EN URABÁ (SECTOR ARBOLETES- TURBO) COSTA CARIBE COLOMBIANA. *Boletín De Investigaciones Marinas Y Costeras*. 33(1), 07-28.
- Correa-Arango, I., Ríos, A., González, D., Toro, M., Ojeda, G., & Restrepo, L. (2007). Shore erosion between Arboletes and Punta San Bernardo, caribbean coast of Colombia. *Boletín de Geología*.
- Díaz-Suaréz, J. (1998). *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos, Ingeniería de suelos.
- Díaz-Suárez, J. (2001). *CONTROL DE EROSIÓN EN ZONAS TROPICALES*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- Duque Caro, H. (1984). *Estilo estructural, diapirismo y episodios de acrecimiento del terreno Sinú-San Jacinto en el noroccidente de Colombia* (Vols. 27-2). *Boletín Geológico*. <https://doi.org/https://doi.org/10.32685/0120-1425/bolgeol27.2.1984.153>
- Estrada, S., Negrito, M., Fernández, J., & Carbonó, E. (2019). Las especies de *Pereskia* (Pereskioideae, Cactaceae) en Colombia. *Caldasia*, 41(2), 289-300. <https://doi.org/https://doi.org/10.15446/caldasia.v41n2.67382>
- Francis, J., Lowe, C., & Trabanino, S. (2000). *Bioecología de árboles nativos y exóticos de Puerto Rico y las Indias Occidentales*. Río Piedras, Puerto Rico: US Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry.
- García Oquendo, L. (. (2022). Seguimiento de cambios topobatimétricos: Informe cuantitativo de la evolución topobatimétrica en el periodo 2021 – 2022 en el Laboratorio costero de la universidad de Antioquia (Arboletes Antioquia). [*Trabajo de grado profesional*].
- García-Echevarría, M. (2021). Vulnerabilidad costera en cuatro sitios del suroeste del Caribe Colombiana ante el ascenso del nivel del mar. [*Tesis de maestría*]. Turbo, Colombia: Universidad de Antioquia.



- 
- Gobernación de Antioquia, & Universidad de Antioquia. (2021). *Programa Integral para el Monitoreo y Mitigación de la erosión Costera en el Litoral Antioqueño. Fase II*. Informe final.
- Gobernación de Antioquia, & Universidad de Antioquia. (2023). *Programa Integral para el Monitoreo y Mitigación de la erosión Costera en el Litoral Antioqueño. Fase IV*. Informe final.
- Gobernación de Antioquia [Gov.ANT], Universidad de Antioquia [UdeA], Universidad Nacional [UNAL], & Universidad del Norte [UNINORTE]. (2021). *Erosión Costera en el Litoral Antioqueño. Compilación de resultados*. Medellín / Antioquia / Colombia: Litografía Grafiservicios S.A.S.
- Gómez, M., Toro, J., & Piedrahita, E. (2013). *Propagación y conservación de especies arbóreas nativas*. Medellín, Colombia: Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia-CORANTIOQUIA.
- González-Gómez. (2014). Clasificación climática de Köppen 1981-2010. [Mapa]. 1:9.000.000. Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).
- Gracia, A., Rangel-Buitrago, N., Oakley, J., & Williams, A. (2018). Use of ecosystems in coastal erosion management. *Ocean & coastal management*, 156, 277-289.
- Gu, Z., Chen, X., Ruan, W., Zheng, M., Gen, K., Li, X., & ... & Liu, M. (2024). Quantifying the direct and indirect effects of terrain, climate and human activity on the spatial pattern of kNDVI-based vegetation growth: A case study from the Minjiang River Basin, Southeast China. *Ecological Informatics*, 80. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2024.102493>.
- Guerrero, R. (1991). *La acidez del suelo: Su naturaleza, sus implicaciones y su manejo*. En: *Fundamentos para la interpretación de análisis de suelos, plantas y aguas para riego*. SCCS. Bogotá. pp 141-163.
- Guízar, N., & Sánchez, V. (1991). *Guía para el reconocimiento de los principales árboles del Alto Balsas* (Primera Ed). (U. A. Chapingo, Ed.) México.
- Hänsch, R., & Mendel, R. (2009). Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). *Current opinion in plant biology*, 3(259-266), 12. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.pbi.2009.05.006>

- 
- Holdridge, L. (1967). *Sistema de clasificación de zonas de vida de Holdridge. Ecología basada en zonas de vidas.* San José, CR. <https://doi.org/http://repositorio.iica.int/handle/11324/7936>
- IGAC. (2007). *Estudio general de suelos y zonificación de tierras: departamento de Antioquia 2007.* Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- Isla, F., & Lasta, C. (2006). *Erosión y defensa costeras. Manual de manejo costero para la provincia de Buenos Aires.* (U. N. Plata, Ed.)
- Jaramillo, D. (2002). *Introducción a la ciencia del suelo.* Medellín: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias.
- Köppen, W. (1884). Die Wärmezonen der Erde, nach der Dauer der heissen, gemässigten und kalten Zeit und nach der Wirkung der Wärme auf die organische Welt betrachtet. *Meteorologische Zeitschrift*, 1(21), 5-226.
- Leija, E. G. (2013). Cambios en la cubierta vegetal/uso del suelo y escenarios futuros en tres municipios de la región costera del estado de Oaxaca, México. *Tesis de Maestría.* REPOSITORIO NACIONAL CONACYT.
- Lochner, A., Sorolla, A., Mota, B., Rueda, I., & Sorolla, G. (2019). Soluciones basadas en la Naturaleza (NBS) como una nueva manera inteligente de gestionar el urbanismo y la ingeniería clásica. *Naturalea Conservació*, SL(16).
- López, C., Sarmiento, C., Espitia, L., Barrero, A., Consuegra, C., & Gallego, C. (2016). *100 plantas del Caribe colombiano. Usar para conservar: aprendiendo de los habitantes del bosque seco.* Fondo Patrimonio:Natural, Bogotá D.C. Colombia. 240pp.
- Lugo, A., & Snedaker, S. (1974). The Ecology of Mangroves. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 5, 39-64. <https://doi.org/https://doi.org/http://www.jstor.org/stable/2096879>
- Luo, S., Cai, F., Liu, H., Lei, G., Qi, H., & Su, X. (2015). Medidas adaptativas adoptadas para la reducción del riesgo de erosión costera en la República Popular China. *Gestión oceánica y costera.* *Gestión oceánica y costera*, 103, 134-145. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2014.08.008>
- Maldonado-Peralta, M., Rojas-Garcia, A., & Sánchez-Santillán, P. (2021). *Pithecellobium lanceolatum* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Benth.

- 
- Maza, M., Adler, K., Ramos, D., & Nepf, H. (2017). Velocity and Drag Evolution From the Leading Edge of a Model Mangrove Forest. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 122(11), 9144–9159.
- McKee, K. L. (1995). Seedling recruitment patterns in a Belizean mangrove forest: effects of establishment ability and physico-chemical factors. *Oecologia*, 101, 448-460.
- Monroy-Torres, M., Flores-Verdugo, F., & Flores-de-Santiago, F. (2014). Growth of three subtropical mangrove species in response to varying hydroperiod in an experimental tank. *Ciencias marinas*, 40(4), 263-275.  
<https://doi.org/https://doi.org/https://doi.org/10.7773/cm.v4>
- Nájera, O., Bojórquez, J., Cifuentes, J., & Marcelleño, S. (2013). Cambio de cobertura y uso del suelo en la cuenca del río Mololoa, Nayarit. *Revista Bio Ciencias*, 1(1).
- Ortiz-Múnera, D. A. (2020). Modulación de la frecuencia asociada al pico espectral y la altura significativa de las olas debido a la presencia de manglares. Caso específico, modelación en un canal de oleaje. [Tesis de grado profesional]. Turbo, Antioquia.
- Osorio, W., & Casamitjana, M. (2012). Toma de muestras de suelo para evaluar la fertilidad del suelo. *Manejo integral del suelo y nutrición vegetal*. 1(1), 1-4.
- Peel, M., Finlayson, B., & McMahon. (2007). TA: Mapa mundial actualizado de la clasificación climática de Köppen-Geiger. *Hydrol. Sistema Tierra. Sci.*, 11, 1633–1644.,  
<https://doi.org/https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>, 2007.
- Pranzini, E., & Williams, A. (2013). *Coastal erosion and protection in Europe*. London, UK: Routledge. <https://doi.org/https://doi.org/https://doi.org/10.4324/9780203128558>
- Prasetya, G. (2007). Protection from coastal erosion. Thematic paper: The role of coastal forests and trees in protecting against coastal erosion. RAP Publication (FAO).
- Prialé-Farro, C. (2016). Muestreo de suelos: referencias sobre el análisis e interpretación de resultados.
- Rabaza, J. A. (2019). Modulación del crecimiento inicial y la fisiología de *Rhizophora mangle* L. mediante cambios en el hidropériodo. *Tesis maestría*.  
<http://cicy.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1003/1574>
- Reyes, H., Aguilar, M., Aguirre, J., & Trejo, I. (2006). Cambios en la cubierta vegetal y uso del suelo en el área del proyecto Pujal-Coy, San Luis Potosí, México , 1973-2000.

---

*Investigaciones geográficas*, 59, 26-42.  
[https://doi.org/http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-46112006000100003&lng=es&tlng=es](https://doi.org/http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112006000100003&lng=es&tlng=es).

- Rodríguez-Zuñiga, M., Troche-Souza, C., Vázquez-Lule, A., Márquez-Mendonza, J., Vázquez-Balderas, B., Valderrama-Landeros, L., & ... Galindo-Leal, C. (2013). *Manglares de México/Extensión, distribución y monitoreo*. México D.F: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. <https://doi.org/https://docplayer.es/60236021-Los-manglares-conocimiento-e-importancia.htm>
- Schweizer, S. (2011). *Muestreo y análisis de suelos para diagnóstico de fertilidad*. San José, Costa Rica: Inta.
- Soil Science Division Staff. (2017). *Soil survey manual*. (C. Ditzler, K. Scheffe, & H. C. Monger, Eds.) USDA Handbook 18. Government Printing Office, Washington, D.C.
- Spalding, M., Kainuma, M., & Collins, L. (2010). *World Atlas of Mangroves*. London, UK and Washington, DC, USA: Earthscan): Routledge.
- Tariq, A., Zeng, F., Graciano, C., Ullah, A., Sadia, S., Ahmed, Z., & Zhang, Z. (2023). *Regulation of Metabolites by Nutrients in Plant*. *Plant Ionomics: Sensing, Signaling and Regulation*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/9781119803041.ch1>
- Thampanya, U., Vermaat, J., Sinsakul, S., & Panapitukkul, N. (2006). Coastal erosion and mangrove progradation of Southern Thailand. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* (68(1)), 75–85.
- Thomson, L., & Evans, B. (2006). *Terminalia catappa* (tropical almond). *Species Profiles for Pacific Island Agroforestry*, 2(2), 1-20.
- Universidad Nacional de Colombia. (n.d). *Métodos de Análisis*. <https://ciencias.medellin.unal.edu.co/laboratorios/suelos/calidad/metodos-de-analisis.html>
- Zekri, M., & Obreza, T. (2003). *Plant nutrients for citrus trees*. Gainesville, FL, USA: University of Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, EDIS.

## 8. Anexos

**Anexo I.** Listado de árboles marcados. Se presentan coordenadas de registro, número de registro, nombre común y nombre científico, variables medidas y estado de los individuos.

Coordenada norte	Coordenada este	#	Nombre común	Género	Especie	Familia	DAP (cm)	Altura (m)
1470162,673	1070462,398	1	Muñeco	<i>Cordia</i>	<i>collococca</i> L.	Boraginaceae	88,6	9
1470154,867	1070440,246	2	Espino	<i>Pithecellobium</i>	<i>lanceolatum</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Benth.,	Fabaceae	145,4	13
1470154,321	1070411,324	3	Espino	<i>Pithecellobium</i>	<i>lanceolatum</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Benth.,	Fabaceae	107,3	7
1470152,703	1070409,349	4	Totumo	<i>Crescentia</i>	<i>cujete</i> L.	Bignoniaceae	65,2	7
1470153,127	1070409,45	5	Totumo	<i>Crescentia</i>	<i>cujete</i> L.	Bignoniaceae	64,7	7
1470153,826	1070409,078	6	Totumo	<i>Crescentia</i>	<i>cujete</i> L.	Bignoniaceae	57,5	7
1470153,521	1070409,453	7	Totumo	<i>Crescentia</i>	<i>cujete</i> L.	Bignoniaceae	86,2	7
1470151,928	1070390,986	8	Espino	<i>Pithecellobium</i>	<i>lanceolatum</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Benth.,	Fabaceae	87,1	12
1470153,938	1070388,386	9	Totumo	<i>Crescentia</i>	<i>cujete</i> L.	Bignoniaceae	46,2	6,5
1470169,181	1070405,636	10	Espino	<i>Pithecellobium</i>	<i>lanceolatum</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Benth.,	Fabaceae	132	15
1470171,091	1070402,973	11	Espino	<i>Pithecellobium</i>	<i>lanceolatum</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Benth.,	Fabaceae	116,5	8
1470168,887	1070397,334	12	Mango	<i>Mangifera</i>	<i>indica</i> L.	Anacardiaceae	150,1	15
1470173,375	1070397,383	13	Mango	<i>Mangifera</i>	<i>indica</i> L.	Anacardiaceae	142,1	15
1470169,824	1070390,484	14	Totumo	<i>Crescentia</i>	<i>cujete</i> L.	Bignoniaceae	58,4	7
1470168,774	1070387,787	15	Totumo	<i>Crescentia</i>	<i>cujete</i> L.	Bignoniaceae	56,1	7
1470167,103	1070387,029	16	Totumo	<i>Crescentia</i>	<i>cujete</i> L.	Bignoniaceae	58,2	7
1470168,786	1070385,52	17	Totumo	<i>Crescentia</i>	<i>cujete</i> L.	Bignoniaceae	52,1	7
1470176,453	1070401,105	18	Totumo	<i>Crescentia</i>	<i>cujete</i> L.	Bignoniaceae	55,8	7
1470179,738	1070398,702	19	Espino	<i>Pithecellobium</i>	<i>lanceolatum</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Benth.,	Fabaceae	115,8	10
1470180,926	1070398,923	20	Espino	<i>Pithecellobium</i>	<i>lanceolatum</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Benth.,	Fabaceae	136,5	9
1470183,15	1070386,534	21	Totumo	<i>Crescentia</i>	<i>cujete</i> L.	Bignoniaceae	59,8	7
1470181,098	1070381,359	22	Espino	<i>Pithecellobium</i>	<i>lanceolatum</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Benth.,	Fabaceae	111,1	15
1470182,241	1070381,34	23	Espino	<i>Pithecellobium</i>	<i>lanceolatum</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Benth.,	Fabaceae	110,8	15
1470191,312	1070371,65	24	Espino	<i>Pithecellobium</i>	<i>lanceolatum</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Benth.,	Fabaceae	112,5	14
1470189,69	1070361,267	25	Totumo	<i>Crescentia</i>	<i>cujete</i> L.	Bignoniaceae	56,3	7
1470202,539	1070381,956	26	Espino	<i>Pithecellobium</i>	<i>lanceolatum</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Benth.,	Fabaceae	97,1	14

Coordenada norte	Coordenada este	#	Nombre común	Género	Especie	Familia	DAP (cm)	Altura (m)
1470204,022	1070374,034	27	Espino	<i>Pithecellobium</i>	<i>lanceolatum</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Benth.,	Fabaceae	113,2	15
1470205,792	1070365,727	28	Ciruelo	<i>Cordia</i>	<i>Eriostigma</i>	Boraginaceae	82,5	4
1470208,444	1070364,331	29	Espino	<i>Pithecellobium</i>	<i>lanceolatum</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Benth.,	Fabaceae	125,5	16
1470206,29	1070355,861	30	Ceiba bonga	<i>Pseudobombax</i>	<i>septenatum</i> (Jacq.) Dugand	Bombacaceae	368,8	18
1470212,361	1070347,386	31	Espino	<i>Pithecellobium</i>	<i>lanceolatum</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Benth.,	Fabaceae	80,2	6
1470223,254	1070347,365	32	Espino	<i>Pithecellobium</i>	<i>lanceolatum</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Benth.,	Fabaceae	167,2	11
1470231,195	1070340,396	33	Totumo	<i>Crescentia</i>	<i>cujete</i> L.	Bignoniaceae	66,2	6
1470234,446	1070340,578	34	Totumo	<i>Crescentia</i>	<i>cujete</i> L.	Bignoniaceae	82,4	7
		35	Totumo	<i>Crescentia</i>	<i>cujete</i> L.	Bignoniaceae	68,9	6
1470226,175	1070335,572	36	Totumo	<i>Crescentia</i>	<i>cujete</i> L.	Bignoniaceae	70,1	7
1470228,618	1070331,453	37	Piloroco	<i>Pithecellobium</i>	spp.	Fabaceae	75,4	7
1470235,928	1070338,508	38	Totumo	<i>Crescentia</i>	<i>cujete</i> L.	Bignoniaceae	98,2	6
1470236,459	1070331,703	39	Totumo	<i>Crescentia</i>	<i>cujete</i> L.	Bignoniaceae	52,6	6
1470240,62	1070332,778	40	Totumo	<i>Crescentia</i>	<i>cujete</i> L.	Bignoniaceae	72,4	5
1470241,643	1070323,277	41	Piloroco	<i>Pithecellobium</i>	-	Fabaceae	86,5	7
1470245,044	1070327,095	42	Totumo	<i>Crescentia</i>	<i>cujete</i> L.	Bignoniaceae	55,4	6
1470240,444	1070348,822	43	Totumo	<i>Crescentia</i>	<i>cujete</i> L.	Bignoniaceae	52,4	6
1470229,322	1070360,647	44	Guasimo	<i>Guazuma</i>	<i>ulmifolia</i> Lam	Malvaceae	147,5	5
1470244,207	1070366,851	45	Totumo	<i>Crescentia</i>	<i>cujete</i> L.	Bignoniaceae	70,2	6
1470238,848	1070373,154	46	Muñeco	<i>Cordia</i>	<i>collococca</i> L.	Boraginaceae	62,4	7
1470246,895	1070372,818	47	Totumo	<i>Crescentia</i>	<i>cujete</i> L.	Bignoniaceae	80,2	6
1470251,326	1070386,926	48	Espino	<i>Pithecellobium</i>	<i>lanceolatum</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Benth.,	Fabaceae	165,7	7
1470250,731	1070388,973	49	Totumo	<i>Crescentia</i>	<i>cujete</i> L.	Bignoniaceae	58,9	12
1470256,711	1070396,147	50	Totumo	<i>Crescentia</i>	<i>cujete</i> L.	Bignoniaceae	65,7	7
1470257,865	1070402,03	51	Totumo	<i>Crescentia</i>	<i>cujete</i> L.	Bignoniaceae	50,2	6
1470247,219	1070418,72	52	Espino	<i>Pithecellobium</i>	<i>lanceolatum</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Benth.,	Fabaceae	88,7	6
1470234,471	1070401,623	53	Ceiba pentandra	<i>Ceiba</i>	<i>pentandra</i> (L.) Gaertn.	Malvaceae	416,3	25
1470249,961	1070433,893	54	Guasimo	<i>Guazuma</i>	<i>ulmifolia</i> Lam	Malvaceae	87,6	8
1470240,634	1070434,378	55	Espino	<i>Pithecellobium</i>	<i>lanceolatum</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Benth.,	Fabaceae	47,5	6
1470239,587	1070434,073	56	Espino	<i>Pithecellobium</i>	<i>lanceolatum</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Benth.,	Fabaceae	38,4	6
1470237,966	1070434,644	57	Espino	<i>Pithecellobium</i>	<i>lanceolatum</i> (Humb. & Bonpl.	Fabaceae	50,4	5

					<i>ex Willd.) Benth.</i> ,			
1470237,31	1070434,449	58	Espino	<i>Pithecellobium</i>	<i>lanceolatum</i> (Humb. & Bonpl. <i>ex Willd.) Benth.</i> ,	Fabaceae	43,1	5
<b>Coordenada norte</b>	<b>Coordenada este</b>	<b>#</b>	<b>Nombre común</b>	<b>Género</b>	<b>Especie</b>	<b>Familia</b>	<b>DAP (cm)</b>	<b>Altura (m)</b>
1470235,863	1070434,565	59	Espino	<i>Pithecellobium</i>	<i>lanceolatum</i> (Humb. & Bonpl. <i>ex Willd.) Benth.</i> ,	Fabaceae	45,6	6
1470234,568	1070434,614	60	Espino	<i>Pithecellobium</i>	<i>lanceolatum</i> (Humb. & Bonpl. <i>ex Willd.) Benth.</i> ,	Fabaceae	38,2	6
1470233,134	1070434,403	61	Espino	<i>Pithecellobium</i>	<i>lanceolatum</i> (Humb. & Bonpl. <i>ex Willd.) Benth.</i> ,	Fabaceae	50,1	5
1470227,69	1070435,211	62	Espino	<i>Pithecellobium</i>	<i>lanceolatum</i> (Humb. & Bonpl. <i>ex Willd.) Benth.</i> ,	Fabaceae	51,2	5
1470218,002	1070435,666	63	Espino	<i>Pithecellobium</i>	<i>lanceolatum</i> (Humb. & Bonpl. <i>ex Willd.) Benth.</i> ,	Fabaceae	46,1	6
1470216,952	1070435,873	64	Espino	<i>Pithecellobium</i>	<i>lanceolatum</i> (Humb. & Bonpl. <i>ex Willd.) Benth.</i> ,	Fabaceae	52,3	5
1470210,211	1070435,193	65	Espino	<i>Pithecellobium</i>	<i>lanceolatum</i> (Humb. & Bonpl. <i>ex Willd.) Benth.</i> ,	Fabaceae	39,5	6
1470207,237	1070432,954	66	Espino	<i>Pithecellobium</i>	<i>lanceolatum</i> (Humb. & Bonpl. <i>ex Willd.) Benth.</i> ,	Fabaceae	67,5	6
1470200,909	1070429,378	67	Espino	<i>Pithecellobium</i>	<i>lanceolatum</i> (Humb. & Bonpl. <i>ex Willd.) Benth.</i> ,	Fabaceae	49,5	5
1470198,198	1070427,493	68	Espino	<i>Pithecellobium</i>	<i>lanceolatum</i> (Humb. & Bonpl. <i>ex Willd.) Benth.</i> ,	Fabaceae	73,5	6
1470194,883	1070425,039	69	Totumo	<i>Crescentia</i>	<i>cujete L.</i>	Bignoniaceae	75,2	7
1470191,745	1070424,301	70	Totumo	<i>Crescentia</i>	<i>cujete L.</i>	Bignoniaceae	152,2	8
1470184,336	1070430,991	71	Totumo	<i>Crescentia</i>	<i>cujete L.</i>	Bignoniaceae	132,2	12
1470184,744	1070433,393	72	Espino	<i>Pithecellobium</i>	<i>lanceolatum</i> (Humb. & Bonpl. <i>ex Willd.) Benth.</i> ,	Fabaceae	162,5	7
1470204,985	1070438,175	73	Totumo	<i>Crescentia</i>	<i>cujete L.</i>	Bignoniaceae	64,5	7
1470196,988	1070459,594	74	Espino	<i>Pithecellobium</i>	<i>lanceolatum</i> (Humb. & Bonpl. <i>ex Willd.) Benth.</i> ,	Fabaceae	158,7	10
1470214,073	1070450,507	75	Espino	<i>Pithecellobium</i>	<i>lanceolatum</i> (Humb. & Bonpl. <i>ex Willd.) Benth.</i> ,	Fabaceae	115,2	6
1470213,319	1070450,742	76	Espino	<i>Pithecellobium</i>	<i>lanceolatum</i> (Humb. & Bonpl. <i>ex Willd.) Benth.</i> ,	Fabaceae	128,4	7
1470232,565	1070449,279	77	Espino	<i>Pithecellobium</i>	<i>lanceolatum</i> (Humb. & Bonpl. <i>ex Willd.) Benth.</i> ,	Fabaceae	88,7	7
		78	Totumo	<i>Crescentia</i>	<i>cujete L.</i>	Bignoniaceae		
1470262,352	1070454,853	79	Ceiba bonga	<i>Pseudobombax</i>	<i>septenatum</i> (Jacq.)Dugand	Bombacaceae	574,8	18
1470265,93	1070454,462	80	Hobo	<i>Spondias</i>	<i>mombin L.</i>	Anacardiaceae	146,5	10
1470303,776	1070464,809	81	Ceiba bonga	<i>Pseudobombax</i>	<i>septenatum</i> (Jacq.)Dugand	Bombacaceae	188,6	20
1470303,316	1070464,366	82	Ceiba bonga	<i>Pseudobombax</i>	<i>septenatum</i> (Jacq.)Dugand	Bombacaceae	200,2	12

1470304,008	1070465,769	83	Hobo	<i>Spondias</i>	<i>mombin L.</i>	Anacardiaceae	106,5	15
1470308,942	1070470,855	84	Ceiba bonga	<i>Pseudobombax</i>	<i>septenatum (Jacq.)Dugand</i>	Bombacaceae	158,2	19
1470308,105	1070470,919	85	Ceiba bonga	<i>Pseudobombax</i>	<i>septenatum (Jacq.)Dugand</i>	Bombacaceae	134,2	19
1470304,023	1070472,409	86	Piloroco	<i>Pithecellobium</i>	-	Fabaceae	85,4	8
1470315,666	1070475,876	87	Piloroco	<i>Pithecellobium</i>	-	Fabaceae	62,3	7
1470324,587	1070475,69	88	Ceiba bonga	<i>Pseudobombax</i>	<i>septenatum (Jacq.)Dugand</i>	Bombacaceae	311,8	16
1470326,188	1070475,335	89	Ceiba bonga	<i>Pseudobombax</i>	<i>septenatum (Jacq.)Dugand</i>	Bombacaceae	221,8	16
1470313,836	1070483,846	90	Cercis	<i>Cercis</i>	<i>siliquastrum</i>	Cesalpiniáceas	50,2	3
1470302,792	1070480,873	91	Ceiba bonga	<i>Pseudobombax</i>	<i>septenatum (Jacq.)Dugand</i>	Bombacaceae	223,8	20
1470298,359	1070488,324	92	Ceiba bonga	<i>Pseudobombax</i>	<i>septenatum (Jacq.)Dugand</i>	Bombacaceae	401,2	22
1470290,172	1070471,617	93	Muñeco	<i>Cordia</i>	<i>collococca L.</i>	Boraginaceae	77,8	8
1470269,7	1070481,847	94	Ceiba bonga	<i>Pseudobombax</i>	<i>septenatum (Jacq.)Dugand</i>	Bombacaceae	299,8	18
1470277,342	1070493,848	95	Hobo	<i>Spondias</i>	<i>mombin L.</i>	Anacardiaceae	234,4	17
1470254,991	1070520,692	96	Muñeco	<i>Cordia</i>	<i>collococca L.</i>	Boraginaceae	99,5	14
1470245,426	1070525,413	97	Piloroco	<i>Pithecellobium</i>	-	Fabaceae	168,8	18
1470221,706	1070502,629	98	Espino	<i>Pithecellobium</i>	<i>lanceolatum (Humb. &amp; Bonpl. ex Willd.) Benth.,</i>	Fabaceae	143,2	9
1470232,218	1070504,447	99	Muñeco	<i>Cordia</i>	<i>collococca L.</i>	Boraginaceae	86,2	8
1470234,655	1070499,299	100	Espino	<i>Pithecellobium</i>	<i>lanceolatum (Humb. &amp; Bonpl. ex Willd.) Benth.,</i>	Fabaceae	117,2	9
1470241,415	1070500,192	101	Espino	<i>Pithecellobium</i>	<i>lanceolatum (Humb. &amp; Bonpl. ex Willd.) Benth.,</i>	Fabaceae	103,1	6
1470245,357	1070500,675	102	Ceiba bonga	<i>Pseudobombax</i>	<i>septenatum (Jacq.)Dugand</i>	Bombacaceae	110,2	4
1470252,739	1070503,889	103	Totumo	<i>Crescentia</i>	<i>cujete L.</i>	Bignoniaceae	242,1	18
1470242,375	1070501,769	104	Espino	<i>Pithecellobium</i>	<i>lanceolatum (Humb. &amp; Bonpl. ex Willd.) Benth.,</i>	Fabaceae	78,1	7
1470247,578	1070537,781	105	Camajon	<i>Sterculia</i>	<i>apetala</i>	Malvaceae	218,2	25
1470237,155	1070547,874	106	Piloroco	<i>Pithecellobium</i>	-	Fabaceae	52,1	7
1470230,351	1070554,752	107	Mango	<i>Mangifera</i>	<i>indica L.</i>	Anacardiaceae	77,1	8
1470225,237	1070557,038	108	Pepo	<i>Sapium</i>	<i>macrocarpum</i>	Euphorbiaceae	108,1	12
1470223,728	1070560,525	109	Mango	<i>Mangifera</i>	<i>indica L.</i>	Anacardiaceae	75,2	11
1470222,742	1070566,899	110	Guayacan rosado	<i>Tabebuia</i>	<i>rosea (Bertol.) Bertero ex A.DC.</i>	Bignoniaceae	117,4	12
1470220,589	1070571,125	111	Guayacan rosado	<i>Tabebuia</i>	<i>rosea (Bertol.) Bertero ex A.DC.</i>	Bignoniaceae	157,2	20
1470215,841	1070577,163	112	Guayacan rosado	<i>Tabebuia</i>	<i>rosea (Bertol.) Bertero ex A.DC.</i>	Bignoniaceae	67,3	15
1470201,008	1070561,703	113	Teca	<i>Tectona</i>	<i>grandis L.f.</i>	Verbenaceae	148,5	20
1470194,842	1070567,635	114	Ceiba bonga	<i>Pseudobombax</i>	<i>septenatum (Jacq.)Dugand</i>	Bombacaceae	138,8	18
1470192,565	1070561,672	115	Teca	<i>Tectona</i>	<i>grandis L.f.</i>	Verbenaceae	50,1	10
1470185,703	1070571,521	116	Ceiba bonga	<i>Pseudobombax</i>	<i>septenatum (Jacq.)Dugand</i>	Bombacaceae	65,2	2



1470210,645	1070558,344	117	Mango	<i>Mangifera</i>	<i>indica</i> L.	Anacardiaceae	120,1	16
1470233,244	1070540,434	118	Teca	<i>Tectona</i>	<i>grandis</i> L.f.	Verbenaceae	120,2	21
1470228,128	1070536,46	119	Guayacan rosado	<i>Tabebuia</i>	<i>rosea</i> (Bertol.) Bertero ex A.DC.	Bignoniaceae	89,2	18
1470222,203	1070535,022	120	Guayacan rosado	<i>Tabebuia</i>	<i>rosea</i> (Bertol.) Bertero ex A.DC.	Bignoniaceae	95,7	16
1470217,641	1070531,891	121	Guayacan rosado	<i>Tabebuia</i>	<i>rosea</i> (Bertol.) Bertero ex A.DC.	Bignoniaceae	90,5	22
1470216,577	1070530,188	122	Ceiba bonga	<i>Pseudobombax</i>	<i>septenatum</i> (Jacq.)Dugand	Bombacaceae	50,8	10
1470213,025	1070526,43	123	Teca	<i>Tectona</i>	<i>grandis</i> L.f.	Verbenaceae	115,2	24
1470219,326	1070522,927	124	Ceiba bonga	<i>Pseudobombax</i>	<i>septenatum</i> (Jacq.)Dugand	Bombacaceae	194,4	22
1470209,149	1070521,194	125	Guayacan rosado	<i>Tabebuia</i>	<i>rosea</i> (Bertol.) Bertero ex A.DC.	Bignoniaceae	124,6	12
1470208,584	1070520,162	126	Hobo	<i>Spondias</i>	<i>mombin</i> L.	Anacardiaceae	67,1	4
1470205,895	1070516,433	127	Hobo	<i>Spondias</i>	<i>mombin</i> L.	Anacardiaceae	81,2	5
1470204,659	1070515,076	128	Camajon	<i>Sterculia</i>	<i>apetala</i>	Malvaceae	99,5	20
1470199,191	1070513,012	129	Guayacan rosado	<i>Tabebuia</i>	<i>rosea</i> (Bertol.) Bertero ex A.DC.	Bignoniaceae	104,1	22
1470193,394	1070515,314	130	Guayacan rosado	<i>Tabebuia</i>	<i>rosea</i> (Bertol.) Bertero ex A.DC.	Bignoniaceae	88,1	20
1470188,558	1070517,44	131	Guayacan rosado	<i>Tabebuia</i>	<i>rosea</i> (Bertol.) Bertero ex A.DC.	Bignoniaceae	100,1	19
1470186,556	1070517,913	132	Ceiba bonga	<i>Pseudobombax</i>	<i>septenatum</i> (Jacq.)Dugand	Bombacaceae	101,2	17
1470180,281	1070520,257	133	Hobo	<i>Spondias</i>	<i>mombin</i> L.	Anacardiaceae	98,2	9
1470177,376	1070522,112	134	Espino	<i>Pithecellobium</i>	<i>lanceolatum</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Benth.,	Fabaceae	74,2	10
1470174,701	1070542,812	135	Teca	<i>Tectona</i>	<i>grandis</i> L.f.	Verbenaceae	162,2	24
1470181,947	1070556,419	136	Yarumo	<i>Cecropia</i>	<i>peltata</i> L.	Urticaceae	86,5	18
1470177,553	1070511,736	137	Guasimo	<i>Guazuma</i>	<i>ulmifolia</i> Lam	Malvaceae	106,8	8
1470169,841	1070504,032	138	Sangregao	<i>Croton</i>	<i>draco</i> Schlttdl.	Euphorbiaceae	76,5	8
1470178,053	1070498,213	139	Ciruelo	<i>Cordia</i>	<i>Eriostigma</i>	Boraginaceae	103,2	7
1470174,964	1070493,072	140	Ciruelo	<i>Cordia</i>	<i>Eriostigma</i>	Boraginaceae	108,1	7
1470162,589	1070491,975	141	Espino	<i>Pithecellobium</i>	<i>Lanceolatum</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Benth.,	Fabaceae	162,2	14
1470180,38	1070482,272	142	Palma	<i>Acrocomia</i>	<i>aculeata</i>	Arecaceae		
1470200,618	1070501,649	143	Ceiba bonga	<i>Pseudobombax</i>	<i>septenatum</i> (Jacq.)Dugand	Bombacaceae	418,5	22
1470204,041	1070506,736	144	Mango	<i>Mangifera</i>	<i>indica</i> L.	Anacardiaceae	147,4	12
1470204,73	1070506,932	145	Mango	<i>Mangifera</i>	<i>indica</i> L.	Anacardiaceae	136,4	15
1470210,245	1070494,037	146	Piloroco	<i>Pithecellobium</i>	-	Fabaceae	84,7	7
1470167,242	1070463,635	147	Guayabo	<i>Psidium</i>	<i>guajava</i> L.	Myrtaceae	43,2	3
1470166,636	1070463,603	148	Guayabo	<i>Psidium</i>	<i>guajava</i> L.	Myrtaceae	50,1	3

*Anexo 2. Modelo de elevación para el cuerpo de agua, encontrado en el margen derecho del talud.*

